中国当代著名科学家丛书

钱学森



■ 主　编　钱伟长　杨福家
■ 著　者　涂元季

贵州人民出版社

中国当代著名科学家



人们一般喜欢称我为中国的"导弹之父"或"航天之父"，但是我本人不同意这样的称呼。

钱学森

丛书策划	唐廷友
	唐光明
	葛能全
责任编辑	唐光明
	黄　瑛
封面设计	张世申

ISBN 7-221-06483-0

9 787221 064837

ISBN7-221-06483-0/K·788　定价：20.00元

中国当代著名科

丛书



钱学森

主　编　钱伟长　杨福家
副主编　唐廷友　葛能全
　　　　唐光明
著　者　涂元季

贵州人民出版社

图书在版编目（CIP）数据

钱学森 / 涂元季著. —贵阳：贵州人民出版社，2004.5

（中国当代著名科学家丛书 / 钱伟长，杨福家主编）

ISBN 7-221-06483-0

Ⅰ.钱… Ⅱ.涂… Ⅲ.钱学森—传记 Ⅳ.K826.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 122873 号

主　　编：钱伟长　杨福家

副 主 编：唐廷友　葛能全　唐光明

著　　者：涂元季

责任编辑：唐光明　黄　瑛

装帧设计：张世申

出版发行：贵州人民出版社

地　　址：贵州省贵阳市中华北路 289 号（邮编：550001）

印　　制：贵州省兴隆印务有限责任公司

版　　次：2004 年 5 月第 1 版

印　　次：2004 年 5 月第 1 次印刷

开　　本：787×1092 毫米　18 开

印　　张：$9\frac{7}{9}$

字　　数：175 千字

印　　数：5000 册

书　　号：ISBN 7-221-06483-0/K·788

定　　价：20.00 元



我作为一名科技工作者，活着的目的就是为人民服务。如果人民最后对我的工作满意的话，那才是最高奖赏。

一切成就归于党，归于集体。我个人不过适逢其时，做了一点点事。自己想来，也很内疚，因为做得太少了。

——钱学森

钱学森简介

钱学森，著名科学家，浙江杭州人。1911年12月11日生于上海。1934年毕业于交通大学机械工程系。1936年在美国麻省理工学院航空工程系获硕士学位。1939年在美国加州理工学院航空系获博士学位。后历任美国加州理工学院航空系研究员、助理教授（1940~1945年为四川成都航空研究所通信研究员）、副教授，美国麻省理工学院航空系副教授、空气动力学教授，美国加州理工学院喷气推进中心主任、教授。1955年回国后，被选为中国科学院学部委员，任力学研究所所长、研究员，国防部第五研究院院长。1959年8月加入中国共产党。曾任第七机械工业部副部长，国防科学技术委员会副主任，国防科学技术工业委员会科技委员会副主任，当选为中国科学技术协会副主席、主席、名誉主席，中国科学院主席团执行主席，中国力学学会、中国自动化学会理事长，中国系统工程学会、中国力学学会、中国宇航学会名誉会长，政协全国委员会科技委员会主任。1954年他在美国出版《工程控制论》，以技术科学观点对各种工程技术系统自动控制理论作出全面研究，奠定了工业自动化理论的基础。提出空气动力学中的跨声速流动相似律，高亚声速飞机设计中的公式被命名为卡门–钱公式。是物理力学和工程控制论、系统科学等交叉学科和横断学科的开创者。他的系统科学思想，首先表现在提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构，提出要建立系统科学的基础学科"系统学"，并亲自领导系统学研讨班。1956年初，他向中共中央、国务院提出《关于建立我国国防航空工业的意见书》，参与组建航天科学研究机构和培养航天技术队伍的工作，参加组织领导中国战略导弹、卫星的研制和试验。1991年10月16日，被中华人民共和国国务院、中央军委授予"国家杰出贡献科学家"荣誉称号和一级英雄模范奖章。是中共第九届至第十二届中央候补委员；第四、五届全国人民代表大会代表；政协第二届全国委员会委员，第六、七、八届全国委员会副主席。著有《工程控制论》、《论系统工程》、《星际航行概论》等。

目录

引 子

钱学森是我国著名科学家。他早年在空气动力学、航空工程、喷气推进、工程控制论等技术科学领域做出过许多开创性的贡献。1955 年 9 月，在毛泽东、周恩来等老一辈无产阶级革命家的关怀下，他冲破重重阻力，离开美国，回到社会主义祖国。1959 年 8 月，他光荣地加入了中国共产党。数十年来，他以对祖国、对人民的无限热爱和忠诚，满腔热忱地投身于我国国防科技事业，为我国火箭、导弹和航天事业的创建与发展做出了卓越的贡献。他潜心研究的工程控制论，发展成为系统工程理论，并广泛地运用于军事运筹、工业、农业，乃至整个社会经济各个领域的实践活动，在我国现代化建设中发挥了重要作用。他一贯努力学习马克思列宁主义、毛泽东思想和邓小平理论，坚持运用马克思主义哲学理论指导科学活动。他热爱中国共产党，热爱社会主义祖国，热爱人民，充分体现了新中国知识分子的高尚品德，他是我国爱国知识分子的杰出典范，是人民科学家。

第一章

良好的家庭和学校教育

1 3岁开始背诵唐诗宋词

钱学森，祖籍杭州，1911年12月11日出生于上海，是独生子，属五代十国时期吴越国国王钱镠之后。钱王把江浙一带治理得较好，后来，继承王位的孙子钱俶又归顺了宋朝，对祖国统一做出了贡献。后人在杭州修建了“钱王祠”，以示纪念。

钱学森的父亲钱均夫（名家治）是浙江杭州一个没落丝商的次子，出身书香门第。青少年时代就学于当时主张“维新”的杭州“求是书院”(即后来的浙江大学)，成年后到日本留学，主修教育、地理和历史。母亲章兰娟是杭州有名富商的女儿，乃大家闺秀，知书达理。钱学森的外祖父并不看重钱均夫的家境，而是欣赏他的才华，把自己的女儿许配给他。

民国成立后，钱均夫就职于北京当时的教育部，任中小学科科长。钱学森3岁时随父母进京。他在牙牙学语时，就长得聪慧可爱。母亲教他背诵古诗词，从“春游芳草地”直到唐诗宋词，他一学就会。家里来了宾客，让他背首诗词是常有的“节目”，而钱学森的“表演”总能让客人们惊叹不已，称赞小小年纪的钱学森“前途未可限量”。

钱学森的父亲是一位谦躬自守、博学多才而又思想开通的人，且懂得近代教育，所以他不让钱学森读私塾，而是要他接受当时最好的近代正规教育。到北京后他上过蒙养院（幼儿园)、女师大附小（今北京市第二实验小学)、师大附小（今北京市第一实验小学）和师大附中。北京师大附小和北京师大附中在那时都是办学思想十分先进的学校。钱学森在师大附小读书时，邓颖超也在那里任教。几十年后相见，钱学森依稀记得，当年那位演讲讲得很好的女先生，就是今天他所敬重的邓大姐，而邓颖超也记起了她的这位学生。二人遂以师生相称，十分亲切。

当时北京师大附中的高中实行文、理分科，钱学森读理科。他后来认为师大附中的教育对他日后的成长有重大影响，是他一生之中难忘的一段经历。钱学森曾回忆说，师大附中的校长林砺儒先生（当时称主任，解放

后曾任教育部副部长)，制定了一套以启发学生兴趣和智力为目标的教学方案，很有成效。学生们平时都很自觉，该学习的时间专心学习，该玩的时间就尽情玩耍，从不在临考前加班突击。钱学森每次考试虽名列前茅，但并不刻意追求满分。能考80分以上的就是好学生，但这80分是真正学到的、扎扎实实的知识，什么时候考试，都能考出这样的成绩。

化学老师王鹤清，让钱学森自由地到化学实验室做各种实验，这启发了他对科学的兴趣。国文老师董鲁安，在课堂上除了讲授语文知识以外，还常常用较长时间讨论时事，表示厌恶北洋军阀政府，憧憬国民革命军北上(后来他改名于力，去了解放区，解放后是北京市优秀教师)。他的教育使钱学森产生了对旧社会腐败的深切不满和对祖国前途、人民命运的无比关心。几何老师傅种孙那时已是北京师范大学数学讲师，在中学课堂上把道理讲得很透。钱学森后来认为，在中学听傅老师的几何课，使他第一次得知什么是严谨的科学(解放后，傅种孙曾任北京师范大学副校长)。而生物老师俞谟(新中国成立后改名俞君适，是江西南昌大学生物系教授)常常带他们到野外采集生物样品，制作生物标本。他培养了钱学森较为广泛的科学兴趣。钱学森对老师们的教诲感激不尽，他后来说："我能为国家为人民做点事，也是与中小学老师的教育分不开的!"

师大附中的课余活动也是丰富多彩、生动活泼的。做完功课，同学们总是在一起玩耍，做各种游戏。他们常玩的一种游戏是投飞镖。用纸叠成飞镖，然后比赛谁的飞镖投得远，飞得高。钱学森每次叠的飞镖都投得最远。后来他在航空和火箭导弹事业上取得重大成就，老同学们回忆起少年的时光，说他从小就颇具"航空航天"的才能。

午餐后同学们常聚在一起"神聊"，天南海北无所不"吹"。一次一位同学说他知道现在世界上有两位了不得的大师，一位是革命大师列宁，一位是科学大师爱因斯坦。钱学森听得入了迷，定要找到有关他们的书来读，想知道这两位大师是怎么回事。无奈，有关列宁的书在当时属于禁书，他自然是找不到的。但他终于在学校图书馆里找到一本讲相对论的小册子。作为中学生的钱学森，虽不大读得懂，但这本书却激起了他对科学的极大兴趣。十几年后，他在美国加州理工学院攻读航空、数学博士学位时，终于选修了相对论和量子力学，一方面了却了少年时代的求知欲望，另一方面又为他后来的科研工作打下了深厚的理论基础。时间又过去30年，到了20世纪60年代末，中国"文化大革命"的极左思潮席卷全国

时，中国科学院有人写“大字报”，批判相对论，声称要打倒世界上“最大的科学权威”爱因斯坦。周恩来总理听说此事以后，曾征求钱学森的意见。他实言相告总理，相对论是科学的理论，不同学术观点可以讨论，但乱批是要闹笑话的。爱因斯坦是世界公认的科学大师，而且他思想进步，积极投身世界和平运动，反对战争，是我们的朋友。尽管他已过世，也不能随便提“打倒”的口号。周总理立即制止了这场批判运动。

钱学森在说这个话时，他自然不知道，20 世纪 50 年代初，当他在美国遭受麦卡锡主义迫害时，爱因斯坦也受到联邦调查局的严密监控，这一秘密档案直到人类迈入 21 世纪才曝光于世。

2 兴趣广泛，聪慧好学

中小学时代的钱学森也是一个淘气好动的孩子。他每天坐“洋包车”上学，在车上总不安分，左动右晃，甚至干脆面朝后趴在车上，偶尔向过路行人做个“怪脸”，逗得别人哑然失笑。

钱学森的父亲对年幼儿子的管教十分严格而又得法，从小培养他良好的学习和生活习惯：每天按时起床就寝，按时复习功课和休息；出门上学一定要衣着整洁，书包要整理得井井有条；回家后衣帽、鞋袜、书包放在什么地方，都有一定规矩，不能乱来。这对钱学森后来在科学事业上严谨仔细、井井有条、一丝不苟作风的形成是有一定影响的。

钱学森兴趣广泛，知识渊博，也得益于他父亲对他的的启蒙培养。每逢寒暑假，钱均夫都要送儿子拜名师补习各种功课。他那时业余学习过伦理学、矿物学、音乐、绘画等等。

钱均夫让儿子拜林砺儒学习伦理学。他带钱学森到林校长家，林先生出了几道题，让钱学森在另一间屋里考试，钱均夫则和林砺儒在客厅喝茶聊天。过了一会儿，钱均夫说去看看儿子考得怎么样了。当他走进小院时，却看见钱学森正在和别的孩子玩得起劲。钱先生有点生气，责问儿子

为什么不好好考试。钱学森争辩说："我早就答完了，试卷就放在桌子上。"钱均夫把卷子拿给林砺儒判阅，林先生则对钱学森大加赞扬，当即收录了这名学生。钱学森晚年曾说："现在回想起来，林砺儒的课讲得好极了，他完全是从唯物史观来讲伦理学的。"

少年时代的钱学森有时也很贪玩，父亲并不为此责怪儿子，而是因势利导地对他说："你不是贪玩吗，那好，你再去拜一位矿物学老师，让他带你到野外游玩并采集矿石，好不好？"钱学森自然十分高兴，父亲的这一举措使他既玩得开心，又增长了知识。

钱学森从小就爱画画儿，于是钱均夫又送他去向美术老师高希舜学画国画。高希舜可不是一位普通老师，他后来成为我国国画大师，还是毛主席的朋友。钱学森学得认真，又很有作画的天分，有几幅画作曾得到高老师的夸奖，他自己也很得意。钱均夫将儿子的画裱好，或赠亲朋好友，或挂在杭州老家的客厅里。可惜抗日战争时期，杭州沦陷，那几幅画也没了踪影。

钱学森不是画家，他对自己青少年时代的"创作"被丢失也并不在意。但是，他的一位远亲钱学文老先生说，他曾在香港一位朋友家看到钱学森作的画，他想高价购买，但画主人认为那是无价之宝，拒绝出售。

钱学森就是在这么优越的条件下一步步长大的。他不是那种"少年天才"，既没跳过班，也没越过级。但他从小就兴趣广泛，聪慧好学，又爱博览群书。这使他后来不仅在自然科学技术领域，而且在社会科学甚至文学艺术等方面都有很高的修养。这些知识同时又启迪了他在科学上的创新。

1929年中学毕业后，钱学森为复兴祖国，决心学工科，考入上海的交通大学机械工程系，名次第三。他清楚地记得，第一名叫钱钟韩，后来曾担任南京理工大学名誉校长；第二名是俞调梅，后任同济大学教授。钱学森说，他在交通大学第一年基本上是玩过去的，因为所学功课的大部分，如伦理学、解析几何、微积分、大代数、非欧几里得几何、有机化学、工业化学和第二外语德语等等，在师大附中时都学习过了。

然而当时交通大学对学生要求十分严格，而且非常重视考试分数，学期终了平均分数计算到小数点以后两位数。

钱学森开始对分数并不在意，入学后的第一年成绩也不算最好。但他很快发现，这里的情况与师大附中不同，大家都为分数而奋斗。那时交大

的多数学生分成“北京师大附中派”和“江苏扬州中学派”，都是出类拔萃的尖子，在学习成绩上互相竞赛，各不相让。犹如划船比赛一样，这次“北京派”领先，下次“扬州派”一定要得胜。钱学森对这里的“分数战”虽不甚满意，但也不甘落后，非考 90 分以上不可，所以到二年级，他的成绩就直线上升。

钱学森的考卷总是书写工整，清洁漂亮，连等号（=）都像用直尺画的一样，中英文字写得秀丽而端庄，深得各科老师的赞赏。一次水力学考试，所有试题钱学森全部正确完成，老师都打了钩（√）。试卷发下来，他发现有一个不起眼的笔误（在运算的一个步骤中，将“Ns”写成了“N”），老师判卷时未注意到。他立即举手发言，指出自己的错误，并把考卷退给老师。交大当时判卷打分非常严格，老师为这一小错扣了他 4 分。于是这份 96 分的水力学考卷被留在了学校老师那里，并保存下来。不曾想几十年后，钱学森成为世界著名科学家，这份考卷也成了学校的一份珍贵历史档案，1996 年在上海交通大学的百年庆典上展示出来。钱学森从小具有的这种实事求是、严格认真的科学态度，在交通大学一直传为佳话，并成为交大教育学生的典型事例。

钱学森在大学念书时还十分重视实验课。他做实验特别认真仔细，有一次做热工实验，他的实验报告完整、详尽，书写和作图制表也都很清晰，整个实验报告长达 100 多页，详细记载了他在实验中观察到的各种现象的细节，且具有创见。热工实验老师陈石英阅后惊叹不已，给了他满分 100 分。这份实验报告成为交通大学机械系学生历史上最佳的实验报告。

1930 年暑假后期，钱学森得了伤寒病，在杭州家里卧病一月有余，后因体弱休学一年。在这一年里，他第一次接触到科学社会主义。

钱学森爱好美术，在书店里买了一本讲艺术史的书，不料这本书是一位匈牙利社会科学家用唯物史观的论点写的。他从未想到对艺术还可以进行科学分析，所以对这一理论发生了莫大的兴趣。接着他读了马克思的《资本论》、普列汉诺夫的《论艺术》、布哈林的《唯物论》等书，又看了一些西洋哲学史，也看了胡适的《中国哲学史大纲》(上册)。

读了这么多书，他感到只有唯物史观和辩证唯物主义才是有道理的，唯心主义等等没有道理；经济学也是马克思讲的有道理，而资产阶级那一套经济学理论，则不能自圆其说。所以，钱学森认为，休学一年对他也有好处，由于有时间读正反两方面的社会科学书籍，人生观上升了，对国民

党政府的统治也有所认识。

于是当钱学森再回到学校读二年级时，他对每星期一上午的“纪念周”活动就想逃避，不愿“恭听”校长黎照寰的“训词”。正好这时同级的好友林津（也是北京师大附中考来交大的）动员他加入学校的铜管乐队，说是在“纪念周”开始时，乐队伴奏唱“党歌”后就可以退席，不听校长的“训词”了。于是他欣然从命，学吹中音喇叭，成为学校铜管乐队的一名成员。



交通大学1932年第二学期布告：钱学森因学习成绩优秀，获免缴学费奖励

钱学森从小做任何事情都很认真。为了吹好乐器，他甚至花钱买票去上海大剧院听交响乐。在旧上海，听这种高雅音乐的都是些洋人和西服革履的绅士及太太、小姐们。当这位个子不高，身着旧学生装的年轻人夹在他们中间，走向音乐大厅时，人们都以异样的目光看着他。门卫甚至把他拦住，问他是来干什么的。他没有答理，仅仅出示自己的票。

在这期间，钱学森也开始接触到共产党的外围组织，参加过多次小型讨论会，从那里他知道了红军和解放区的存在。小组的领导人乔魁贤，是当时交大数学系的学生，小组里还有许邦和、袁轶群和褚应璜等。后来乔魁贤被学校开除。钱学森和小组的联系也逐渐中断，仍埋头读书，每学期平均分数都超过90分，因而得到免缴学费的奖励。

1934年暑假，钱学森从交通大学机械工程系铁道机械工程专业毕业，尚未派定工作，就考取了清华大学公费留学，专业是飞机设计。两位导师

一位是王助，另一位是王士倬。王助是我国早年的航空工程师，曾在美国参加设计第一架波音飞机，并设计制造了中国第一代飞机。他教导钱学森重视工程技术实践和制造工艺问题。王士倬是清华大学教授。依照清华关于留美学生的规定，钱学森在1934~1935年到杭州笕桥飞机厂实习，又到南京、南昌空军飞机修理厂见习，最后到北平参观清华大学并拜访导师王士倬。钱学森这次来北平，看到这座古都在没落，内心颇有感触。

1935年8月，钱学森从上海坐美国邮船公司的船离国，同船的留美同学有徐芝纶、夏勤铎等。几十年后，钱学森的岳母蒋左梅老太太对她的外孙说："当年你爸爸出国我去送过，一大帮学生，穿着都差不多。你爸爸个子不高，一点也不显眼，真看不出他十几年后会成为大科学家。"钱学森为什么会在这批优秀的留学生中脱颖而出，成为一名大科学家？这与他到美国后遇到一位恩师冯·卡门有很大关系，这是后话，暂且不提。

这位不显眼的学生当时的心情是：中国混乱，豺狼当道，暂时到美国去学些技术，他日回来为国效劳。

第二章

留学美国

3 为中国人争光

到了美国人麻省理工学院（MIT）航空系，钱学森这才发现，他的母校——交通大学完全是按照当时的麻省理工学院的模式办的，连教学和实验大纲都一样。所以钱学森对这里的学习环境一点也不感到生疏，学习起来游刃有余。

但生活上他却有些不习惯，特别是某些美国人瞧不起中国人的傲慢态度令他生气。钱学森晚年回忆说：“我年轻时也争强好胜，在麻省理工学院读书时，一个美国学生当着我的面耻笑中国人抽鸦片，裹脚，不讲卫生，愚昧无知等等。我听了很生气，立即向他挑战说，我们中国作为一个国家，是比你们美国落后；但作为个人，你们谁敢和我比，到学期末了，看谁的成绩好？”美国学生知道他学习好，听了都伸舌头，再也不敢当面蔑视中国人了。

钱学森就是这样怀着一颗强烈的民族自尊心和自信心，憋着一口气在麻省理工学院学习。经过努力，他只用一年时间，就拿下了航空硕士学位，而且成绩不但比美国学生好，还比同班的其他外国人都好。一次有位教授出了一道很复杂的动力学题，大家都做不出来。一位中国留学生叶玄去请教钱学森，他做了一个巧妙的转换，便将这一复杂运算变成了一个简单的代数问题，此题便迎刃而解了。叶玄后来留在美国做科研工作，是台湾中央研究院的外籍院士。1989 年叶玄先生回国，再次见到钱学森时，问他当时怎么想得那么巧：“这么复杂的运算，到您手里就变得那么简单了？”钱学森淡然一笑说：“那算不得什么，小技巧而已。”

另一次，有位教授出了一份很难的考卷，都是些偏题、怪题，全班大部分人做不出来，考试成绩不及格。这在学生中引起了很大的不满，大家认为这样的考试对他们是不公平的，这位教授在有意使他们难堪。经过讨论和酝酿，一部分学生决定去找教授说理。钱学森静静地坐在一旁，对于他们的讨论不屑一顾。当学生们来到教授的办公室门口时，却发现钱学森

的试卷贴在门上。卷面用钢笔书写得工整清洁，每一道题都完成了，而且没有任何错误，没有任何圈改和涂抹的痕迹，显然是一气呵成的。前来评理的学生绝没有想到这么难的考题居然没把钱学森难倒，更没想到教授使出这么一个高招儿来对付他们，于是大家一下子泄了气，不敢再去找教授了。

首战得胜，使得初出国门的年轻学子钱学森为自己取得的成绩感到欣慰，他更为自己作为一名中国人而感到自豪。

因为学工程一定要到工厂去实习，而当时美国的航空工厂普遍不欢迎中国人，所以，他硕士毕业后继续深造航空工程面临困难。另一方面，钱学森内心的一个更深层的考虑是，他并不满足于只做一名工程师，还希望学到高深的理论知识，站到科学的最前沿，成为一名既有深厚理论基础的科学家，又有丰富实践经验的工程师。麻省理工学院当时的培养目标就是工程师，这不能满足他的要求。所以一年后，他开始转向航空工程理论，即应用力学的学习。于是他决定追随当时在加州理工学院（CIT）的世界著名力学大师冯·卡门（Theodor Von Kármán）教授。

4 师从冯·卡门教授

1936 年 10 月，钱学森转学来到加州理工学院。加州理工学院位于美国西海岸阳光明媚的加利福尼亚州南部的帕萨迪纳（Pasadena）市，城市西部坐落着华丽的地中海式建筑，白墙红瓦，玫瑰飘香，棕榈成行，是一座规模不大的著名的疗养胜地和文化名城。

钱学森来到加州理工学院，首先拜访冯·卡门教授。他们的会面时间很短，但给敏锐的卡门留下了深刻的印象。卡门晚年在他的回忆录中这样写道："1936 年的一天，他到我这里来，就将来的深造问题请我指点，这是我们第一次见面。这个年轻人个子不高，带着认真的神情，回答我的问题时精确得非同寻常。我立刻被他的聪慧和敏捷打动了，于是建议他到

加州理工学院进修。”从此钱学森开始了与冯·卡门教授先是师生后是亲密合作者的情谊。冯·卡门教授教给钱学森从工程实践中提取理论研究对象的原则，也教给他如何把理论应用到工程实践中去的方法。冯·卡门是一位科学大师和科技帅才，钱学森从他那里还学到了如何从大处和高处着眼，分析问题，提炼观点的能力。冯·卡门还有很强的组织活动能力，会与各方面的人打交道。钱学森虽书卷气十足，但长期在他手下工作，也练就了一手组织协调能力。这些本事在他后来组织领导我国导弹航天事业中都派上了用场。



1938年在美国从事应用力学研究的钱学森

冯·卡门原在德国哥廷根（Göttingen）大学执教，他来美国，把欧洲哥廷根学派的良好学风带到了美国。他每周主持召开一次研究讨论会和一次学术研讨会。这些活动强调学术民主，不论是专家权威，还是普通的研究生，大家一律平等，都能畅所欲言，发表自己的学术论点。这给年轻的钱学森提供了锻炼创造性思维的良好机会。在一次学术讨论会上，钱学森刚刚念完自己的论文，就有一位长者站起来提出不同意见。钱学森不同意他的观点，两人一时争论得面红耳赤。事后冯·卡门问钱学森：“你知道你是在和谁争论吗？那是大权威冯·米赛斯（Von Mises）。但是，你听到了我的总结讲话，我认为你的意见是对的，我支持你。”

在另一次学术讨论中，钱学森却和他的老师冯·卡门发生了争论。他

坚持自己的观点，毫不退让，令冯·卡门十分生气，他把钱学森拿给他看的论文稿往地上一丢，拂袖而去。老师走后，钱学森默默拾起稿纸，但他内心并未屈服，在科学问题上，他没弄明白之前，绝不会轻易放弃自己的观点。事后冯·卡门这位世界大权威经过思考，认识到在那个问题上，他的学生是对的。于是第二天一上班，他便亲自爬了三层楼梯，来到位于三层楼一个旮旯的办公室，敲开门，先给钱学森行个礼，然后说："钱，昨天的争论你是对的，我错了。"

冯·卡门的博大胸怀令钱学森十分感动，并终身不忘。他在回到祖国以后，曾倡导过各种学术研讨会，还力图把冯·卡门的学风也带回来，自己以身作则，并多次以冯·米赛斯和冯·卡门的例子教育中国学者。他总是不厌其烦地强调，在学术讨论中一定要发扬民主，大家一律平等，即使是专家权威，也要虚心听取年轻人的意见。钱学森说的这些话，绝不仅仅是挂在嘴上，专门说给别人听的，他自己就是这种民主学风的典范。当他自己成为大权威以后，也和他的老师一样虚怀若谷。

1964年，一位远在新疆生产建设兵团农学院的年轻人郝天护给钱学森写了一封信，对他新近发表的一篇力学论文中的一处错误，提出了自己纠正的意见。信发出后，郝天护一直惴惴不安，不知这位世界力学权威会有什么想法。然而，出乎他意料的是，不几天他收到了钱学森的亲笔回信，信中写道："我很感谢，您指出我的错误！也可见您是很能钻研的一位青年。科学文章中的错误必须及时阐明，以免后来的工作者误用不正确的东西而耽误事。所以我认为，您应该把您的意见写成一篇几百字的短文，投《力学学报》刊登，帮助大家。您认为怎样？"在钱学森的积极鼓励之下，郝天护将自己的观点写成文章：《关于土动力学基本方程的一个问题》，由钱学森推荐，发表在 1966 年 3 月第 9 卷第 1 期《力学学报》上。在钱学森的鼓励之下，郝天护投身力学事业，后来成为东华大学教授。

在领导我国导弹航天事业中，他将这种学术民主进一步发展成技术民主，在技术工作中真正贯彻民主集中制的原则，这已成为我国导弹航天事业取得成就的一条重要经验。

钱学森在加州理工学院从第一个学期开始，便表现出令人吃惊的才华。他不仅学习航空知识，而且选修物理、化学和数学等广泛的基础理论课程。他学习勤奋，成绩优异，在课堂上和学术研讨会上总能机敏地提出一些深刻而又复杂的问题，他的表现既让师颜大悦，又让其他同学感到困

感不解。卡门曾经回忆说："我记得物理系的大理论家保罗·S·爱泼斯坦(Epstein)教授有一次对我说：'你的学生钱学森在我的一个班上听量子力学、相对论等选修课，很出色。'

'是啊，他不错。'我回答说。

'告诉我，'爱泼斯坦挤挤眼睛说，'您觉得他是不是有犹太血统。'"

显然，在爱泼斯坦的心目中，只有犹太学生才是最勤奋、最聪明的。

然而，另一位犹太学生的回忆，却否定了爱泼斯坦的看法。他说："有一天，那是一个假日，感恩节或圣诞节，我去教室复习功课，以为那里只有我一个人，便把收音机的声音开得很响。不一会儿，隔壁的墙上传来重重的敲击声。我关掉收音机，走过去一看，钱学森早已在那里用功了。我这才知道，原来中国学生比犹太学生更勤奋、更刻苦。"钱学森的优异成绩是用勤奋和刻苦换来的。

冯·卡门对钱学森的要求十分严格。钱学森在加州理工学院的博士研究生读了三年，十分艰苦。当他读到第二年时，中国政府停止了对他的资助，几乎使他无法继续读下去。他曾想草草将博士论文工作结束。当冯·卡门知道这个情况以后，立即向他表示："你应该认真将博士论文工作做下去，你的学习和生活费用由我承担。"由于这位恩师的资助，钱学森才得以顺利完成他的学业。

第 三 章

在应用力学上的开创性工作

5 卡门-钱公式

钱学森的博士论文工作是在1939年6月结束的。这一年他已经28岁了。他的博士论文的第一篇文章《可压缩流体边界层问题》就改变了人们的一个长期观念：认为飞行体周围的空气是“冷的”。他指出，在高速飞行的情况下，由于摩擦作用，周围的空气对飞行器起“加热”的作用。这就是后来人们所说的“热障”。钱学森得出这样一个结论可是来之不易。我们从他的论文手稿中看到，他的导师冯·卡门给他的指导是，建议他采用Mises变换，然后从数学上对不可压缩的解进行迭代。依照钱学森的数学水平，他可以轻而易举地完成老师交给的任务。但他没有走捷径，而是首先系统地查阅前人的文献，阅读文献的笔记就写了250页，并改正了前人许多不足之处，然后才整理自己的论文。



1939年钱学森在美国获博士学位

钱学森博士论文的第二篇文章是《可压缩流体的二维亚声速流动》，这就是著名的“卡门-钱公式”。由于这一成果，使他一跃成为世界著名的空气动力学家。于是，钱学森博士

论文的笔试很快就顺利通过了，并取得航空、数学博士学位。

钱学森说，当时加州理工学院的博士成绩还包括口试，而口试分四个等级：最好的叫 Suma Cum Laude；第二等级叫 Magna Cum Laude；第三等级叫 Cum Laude；第四等级就是 ph–Doctor。他的博士论文是一流的，但口试成绩并不是最好的，而是第二个等级，即 Magna Cum Laude。为此，冯·卡门曾安慰他说："钱，这无关紧要，考最好的口试成绩的人将来也不一定能做出最大的成就。"

此后，他任加州理工学院航空系的助理研究员，一直到 1944 年。在这一段时间内，他先从事薄壳体稳定性的研究，1940 年完成了课题研究，并撰写了论文，在美国航空学会年会上宣读，算是独立研究，出了师。从此钱学森成为冯·卡门的得力助手，二人密切合作，从事科学研究和教学工作，有时他们联名发表论文，钱学森也协助卡门，指导研究生的工作。

20 世纪 30~40 年代，是国际航空工业飞速发展的时代。同时，与飞机设计相关的空气动力学理论也在这一时期迅速发展和完善，使得飞机设计工作逐步摆脱过去那种纯经验型模式，并建立在可靠的理论基础上。

在这一历史性发展中，钱学森做出了许多开创性贡献。他这个时期的工作涉及航空领域的许多方面，包括亚音速、超音速、高超音速和稀薄气体动力学、固体力学，特别是壳体的非线性稳定性问题等。有了冯·卡门的指导，加上加州理工学院民主的学术氛围，钱学森如鱼得水，迎来了他一生中的第一个创造性的高峰。加州理工学院的同事们认为，这师徒二人可谓天造地设的一对。冯·卡门善于提出宏观理论框架，而钱学森则善于用一行行数学公式加以证明。卡门的另一名学生弗兰克·马勃（Frank Marble）教授说："钱是卡门最优秀的助手，每当你看到他们在一起，你就会看到创造。"

卡门对自己的学生也十分满意，他说："钱和我一起解决了许多数学难题。我发现他很有想像力，他善于将自然现象中的物理图形直观化，并将这种能力与他的数学天赋很好地结合起来。尽管他还是个青年学者，但已能在一些很难的课题上帮助我澄清自己的一些想法。这样的天才是不多见的。我和钱成了亲密的同事。"

1938 年，钱学森在冯·卡门的指导下，首先从事高速飞行的空气动力学研究，即所谓可压缩流体边界层研究。这一问题在数学求解上的困难在于：高速飞行时，飞行体周围的空气密度发生显著的变化，即所谓压缩性

效应，这使得方程不再是线性的。钱学森采用简化边界层方程的做法，然后运用逐次近似解法求解非线性方程，取得成功。他把已知的不可压缩流动的解推广到可压缩流动，即飞行马赫数较大的情况，得到有关高速飞行体的阻力和表面热效应两方面的重要结论。钱学森的这一研究从理论上预见了实现高速（即音速和超音速）飞行将面临的一大障碍，即后来人们所称的“热障”。这是一个观念的转变，因为在早年低速飞行时，周围的空气是“冷的”。而现在则面临一个全新的问题，即空气对飞行体的加热作用。鉴于此，钱学森指出，必须对飞行体表面采取有效的冷却或防热措施，才能实现高速飞行。

20世纪30年代末，这一研究的实际意义还在于：当时试验飞机模型的风洞风速一般都不高，与声速比即马赫数不到0.2，不能测定飞机在高马赫数飞行时表面受到的各种力，因此极需一个从低马赫数风洞实验结果修正到高马赫数的方法。为此，当时有数学家做了一套严密的数学推理，但很不好用。冯·卡门凭着对物理问题的洞察力，建议钱学森在求解由速度图变换得到的线性方程时，用来流状态处的切线作近似，结果可能更好。遵照老师的指导，钱学森通过计算研究，证明采用这种近似，可以计算高亚音速的流动，而且得到很精确的计算结果，这就是著名的卡门-钱近似方程。在第二次世界大战期间以及战后一个相当长的时期，在现代计算手段——电子计算机出现以前，卡门-钱近似方程被广泛用于飞机翼型的设计，特别是应用于计算作用在机翼上的各种力。

他所提出的超声速流动的“相似律”，至今仍是指导人们在这一领域进行科研工作的一条重要原则。

钱学森与郭永怀合作，最早在跨声速流动问题中引入上下临界马赫数的概念。他们发现，对某一给定外形，在均匀的可压缩理想气体来流中，当来流马赫数达到一定 h 值时，物体附近的最大流速达到局部声速，这时的来流马赫数即为下临界马赫数；当来流马赫数再高时，物体附近出现超声速流场，这时数学解仍然存在；但当来流马赫数再增加时，数学解突然不存在，即没有连续解，这就是上临界马赫数。所以真正有实际意义的是上临界马赫数，而不是以前大家所注意的下临界马赫数。这是一个重大发现。

6 追求真理是永无止境的

钱学森在美国的研究工作的另一个重要领域是固体力学。这是因为，早期的飞机都是木质结构，外加蒙皮。但是，随着飞行速度的提高，木质结构不能适应飞机发展的需要。所以在20世纪30年代中期以后，航空工业界开始设计和生产全金属壳体结构的新型飞机。这种结构具有重量轻而强度高的优点。但当其受到的载荷超过某一数值时，壳体会发生皱瘪而失效，这种现象被称为屈曲。这是飞机克服“音障”和“热障”，实现超音速飞行的又一难题。而圆柱壳的稳定问题又是火箭飞行的技术关键。

从1940年开始，钱学森与冯·卡门合作，对飞机金属薄壳结构非线性屈曲理论的研究取得了一系列成果，包括外部压力所产生的球壳的屈曲，有侧向非线性支撑的柱子的屈曲，以及曲度对薄壳屈曲载荷的影响等。结果说明，过去理论的缺点在于忽视了大挠度非线性影响。由钱学森推导得出的“下屈曲载荷”因和试验值很接近，其理论很快被学术界接受并被工程界应用。

钱学森在空气动力学和固体力学方面的研究成果，对20世纪30年代的飞机工业从老式的螺旋桨飞机发展到现代喷气式超音速飞机所遇到的“音障”和“热障”问题，及全金属薄壳飞机的出现，奠定了理论基础。

钱学森在美国的研究工作十分严谨、认真。他每做一个课题，总要先查阅调研大量文献资料。阅读文献书籍的体会都要详细记录下来。他认为，仅仅知道在哪里可以找到所需要的资料是远远不够的，必须切实消化和掌握它们，变成刻记在自己脑海中可以反复思考，随时调用和加工的东西。

他从不满足于一般性的理论推导，不管这种推导在逻辑上有多么严密，而是一定要通过数值计算和与实验结果的对比，使理论得到验证。一旦发现有误，便进行修正，甚至推倒重来，直到最后得到满意的结果为

止。例如，关于薄壳非线性失稳理论的研究，就多次显示这一反复过程，仅编有页码的推导演算手稿就达800多页，而最后发表在美国《航空学学报》上的论文却只有10页。其工作之严肃认真、勤奋刻苦，由此可见一斑。

钱学森在完成这项异常复杂而艰巨的研究之后，也许长长地舒了一口气，他在存放这一课题手稿的信袋上写了一个英文字“Final”（意为“最后的”成果），但他立即意识到，真理都是相对的，科学家追求真理是永无止境的。所以他又立即写上“Nothing is final”（意为“没有什么认识是最后的”），并以此来警惕和鞭策自己。

第 四 章

参与美国火箭导弹研制

7 “自杀俱乐部”

钱学森在加州理工学院的另一项重要工作是关于火箭、导弹的研究。到加州理工学院的第二年，他认识了热心研究火箭技术的同学F·J·马林纳（Malina）。马林纳从小就幻想宇宙飞行，是个“火箭迷”。他比钱学森早两年到加州理工学院，也是冯·卡门的研究生之一。那时宇宙飞行还属科学幻想，火箭研究往往和这种科幻联系在一起，因而也登不上科学的大雅之堂，甚至被有些人看成是邪门歪道，不务正业。作为一名严肃的科学家，敢于把火箭研究纳入自己的研究领域，这在当时是冒着很大风险的。

马林纳在加州理工学院组织了一个业余小组，进行火箭研究。小组成员帕森（Parsons）是学化学的，他懂火药；福尔曼（Forman）是搞机械设计的，他懂结构问题；而史密斯（Smith）和马林纳则是航空工程研究生。马林纳兴趣广泛，他不仅热衷于科学探索，而且对艺术、政治都有兴趣，他还是一位现代派画家，又是美国共产党党员。共同的志向和兴趣使他和钱学森结成好友。

钱学森在晚年回忆说：“马林纳这个人很聪明，小组的其他几个人动手能力也强，但他们理论上不怎么样，于是找到我，要我帮助他们解决一些理论计算问题，就这样我参加了火箭小组的工作。”

小组成立起来，最大的困难是得不到理解和经费支持，同事们把他们看成一帮“怪人”，说他们拿着颇有前途的航空课题不干，却偏偏去搞什么神神秘秘的火箭研究。他们只好靠打工挣来的钱购买二手材料制作火箭。后来气象专业的一位研究生阿诺德（Arnold）是一位摄影爱好者，他表示可以给小组提供1000美元，条件是允许他进行拍照。当阿诺德用一张旧报纸包着一堆1美元和5美元的钞票来到马林纳面前时，小组的年轻人们都惊呆了。在今天看来，这1000美元微不足道，在当时却成为美国火箭研究的第一笔启动资金。

惊喜过后，大家立即着手开展工作。钱学森首先对火箭研究的文献进

行调研和分析计算，于 1937 年 5 月 29 日向小组提供了一份研究报告，解决了火箭设计中遇到的几个理论问题。报告的内容包括：燃烧室中的温度、火箭的理想效率、燃烧产物膨胀不足和过度膨胀对火箭效率的影响、燃烧喷嘴设计、发动机推力的计算等。这份报告被收进他们的火箭研究课题选集，该选集被小组成员称为他们的“圣经”。

到 6 月份，小组的工作得到冯·卡门的支持，他允许他们利用学校实验室的设备进行试验。但是，随后的试验多次失败，并给校园造成了许多灾难性的损失。火箭试验时产生的腐蚀性气体使许多仪器的金属表面氧化，有一次爆炸差一点使马林纳丧生，污染性气体弥漫在办公楼的许多房间，呛得人喘不过气来。冯·卡门不得不把他们赶出屋去，全校师生从此戏称他们是一个“自杀俱乐部”。

但是，“自杀俱乐部”的成员们并未因此而灰心丧气，他们把设备搬到市郊，在距加州理工学院有几英里之远的一个名叫阿洛约·塞科（Arroyo Seco）的干涸的河床上进行试验，这里后来发展成为著名的喷气推进实验室（JPL，即 Jet Propulsion Laboratory），是美国火箭的摇篮。

1938 年，正值第二次世界大战，火箭小组的研究工作引起了美国军方的注意，他们首先找到冯·卡门，征询这项工作是否值得支持。钱学森晚年说，冯·卡门这个人也是很谨慎的。他收到国防部的电报以后，一声没吭，把电报装在衣兜里，一个星期后才表态。由于冯·卡门的积极推荐，这一工作才开始得到美国政府的重视，并将它列为一项重要的机密性研究项目。

钱学森说，冯·卡门这个人是一位科学大师，而不是那种自视清高的教授。他与文化艺术界、工业界、军界和政府高官，甚至牧师都有广泛联系，而且很会做“上面”的工作。记得有一天系里来了一位政府官员，问卡门：“听说你们这里搞火箭，搞超声速，什么叫超声速啊？”卡门先不说什么，把他引到澡盆边，放上水，然后用手在水里划。开始划得很慢很慢，水波慢慢向两边散开，他告诉那位官员，这叫亚声速；然后又划得很快，水波则成尖形向两边散开，这就是超声速。那位官员立即说：“懂了。”

由于战时军事科学研究的需要，美国暂时放松了对外国人的限制，使钱学森得以参加机密性工作。他和马林纳合作，努力解决固体燃料燃烧稳定性问题，并取得了一些实质性的结果。

那时火箭的技术水平是不高的，因此开始设定的目标是研制探空火箭。但是，当时根据静态燃烧试验所做的估计，火箭可达到的高度只有1万英尺（约3050米），这不能满足“探空”的需要。钱学森对此做了进一步的分析，探讨采用什么样的发动机和燃烧方案可以使火箭经济而又高效地达到更高的高度。经过研究，他提出了逐次脉冲推进的方案，可以使火箭升高到10万英尺（约30500米），从而满足了火箭探空的要求。

1941年，从加拿大来了几位“庚款留英”的中国留学生：郭永怀、林家翘、傅承义。1942年又来了钱伟长。钱学森和他们相处得比较密切，一般是一起吃晚饭，并常常讨论各种问题。钱伟长非常活跃，又多才多艺，他不仅学问做得好，还擅长作诗赋词。傅承义专攻地球物理。钱学森和郭永怀最相知（后来在1957年初，有关方面询问谁是承担我国核武器爆炸力学工作最合适的人选时，钱学森毫不迟疑地推荐了郭永怀。郭后来对我国原子弹、氢弹事业做出了突出贡献，是我国“两弹一星”元勋之一，1968年因飞机失事而牺牲）。

1943年秋冬，周培源也到加州理工学院来做研究工作，找冯·卡门教授讨论湍流统计理论等。这一群中国同学，还有张捷迁、毕德显，星期天总到周培源老师家去玩，高谈国事，也帮师母王蒂澂烹制午晚餐。特别是钱学森，他能烧一手美味的杭州菜，令这群异乡学子赞不绝口。

到1942年，钱学森的研究工作已有了成绩，并教了些学生；这一年，美国军方委托加州理工学院举办火箭和喷气技术训练班，钱学森是教员之一，与陆海空三军技术人员有了接触。后来美军从事火箭导弹的高级军官中，有不少是他当年的学生。一些学生回忆说：钱教授当时教的两门主要课程是工程数学和喷气推进理论。他对教学工作尽心尽责，黑板上总是写满了数学公式，逻辑严密，书写工整，从不出错，甚至连个符号都不错。在讲课结束时，他总能告诉你正确结论。而且，学生们发现，他讲的内容比教科书上多得多，也好得多，说明他比教科书的作者博学多了。一次他给学生们补习流体动力学问题，连续讲了整整15个小时，却分文不收。学生们对他这种献身精神大为感动，因为他们感到，这位年轻老师为讲好这门课，至少要花费5~10倍的时间进行准备。

1941年，聪明的马林纳看到喷气推进也是一项有利可图的事业，他建议加州理工学院火箭小组办一个公司，制造喷气推进发动机的零备件，出售给军队。此建议立即得到卡门的支持，他们每人出资200美元，于

1942年成立了航空喷气公司。卡门任总经理，马林纳任司库。随着战时的需要和火箭导弹事业的发展，该公司的合同订单滚滚而来，公司规模不断扩大，事业发展很快，后来，航空喷气公司发展成美国导弹的一个主承包商，公司上市的股票也节节攀升。卡门和马林纳晚年退休以后，依靠航空喷气公司的原始股票，都过着富裕的生活。钱学森从一开始就被聘为该公司的顾问，每星期三到公司去一次，帮助他们解决生产中遇到的一些问题。马林纳作为好友，曾极力劝说钱学森参与公司的股权，均被钱学森婉言谢绝。他当然不知道，在这位中国人的心里，早已拿定主意，决不在美国呆一辈子，因此也不愿发这一笔“洋财”。

8 世界第一部《喷气推进》教材

1944年，美国陆军获悉德国研制 V-2 火箭的情报，遂委托冯·卡门教授领导，马林纳为副，大力研究远程火箭。美军早期的“女兵下士”探空火箭和原始型的“下士”导弹是他们那时开始设计并研制成功又装备部队的。钱学森负责理论组，他把林家翘、钱伟长也请来，进行弹道分析、燃烧室热传导、燃烧理论研究等工作，他们的工作都很出色。

与此同时，加州理工学院提升钱学森为讲师。冯·卡门对钱学森是很赏识的，所以在 1945 年初他被美国国防部聘为空军科学咨询团团长的时候，提名钱学森为团员。这个团为美国空军提供了一个远景发展规划，钱学森参与了此项工作，并从中学到从大处和远处设想科技发展问题的方法。1945 年 5 月，第二次世界大战结束的前夕，钱学森随科学咨询团去欧洲，考察英、德、法等国的航空研究，特别是法西斯德国的火箭技术发展情况。

钱学森随卡门在欧洲考察期间，特别是在德国，获得了许多纳粹德国战时从事火箭研究的情报和资料。咨询团审问过德国火箭专家冯·布劳恩（Von Braun）、鲁道夫·赫尔曼（Rudolph Hermann）和 L·普朗特（L.

Prandtl)。特别是普朗特，他是卡门从前的老师，也是一位著名的空气动力学家。师生三代著名科学家因此而会聚在一起，按理说，这应该是一次难得的聚会。但由于普朗特战时为德国服务，现在接受他的学生和学生的学生的询问，显得十分尴尬。

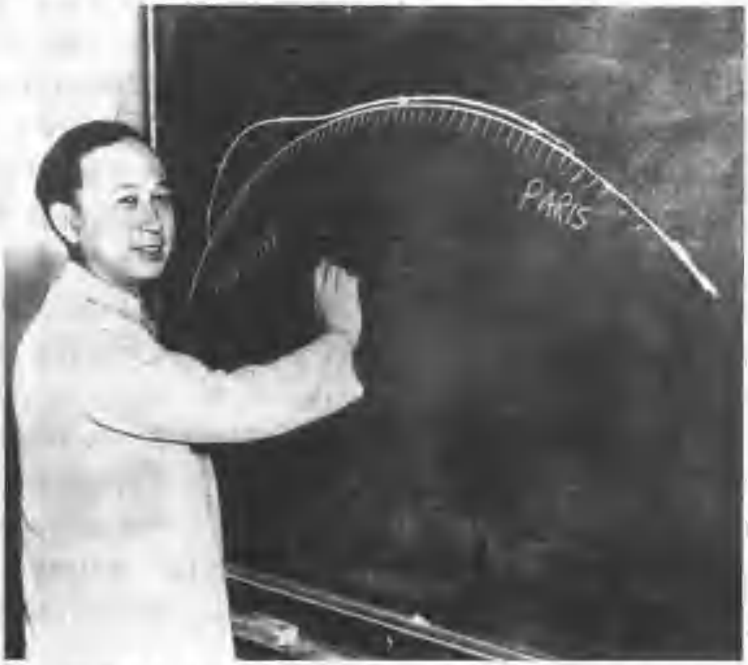
考察结束，钱学森写了多份关于德国火箭和喷气技术方面的调研报告，内容有“箭形机翼”、“火箭”、“超声速气体动力学”、“冲压发动机”、“脉冲式空气喷气发动机”等。在此基础上，科学咨询团还编写了题为《向新的高度迈进》共9卷带有展望性的报告，为美国战后飞机和火箭导弹的发展提出了长远的规划蓝图，其中有5卷为钱学森执笔。这些报告以书籍和论文的形式出版、发表以后，在科学界产生了很大的反响，并奠定了钱学森在力学和喷气推进领域的领先地位，成为当时有名望的优秀青年科学家。同时，加州理工学院提升他为副教授。在此期间，他还为美国空军技术后勤司令部编著了一本内部教材《喷气推进》，这是美国第一部（也是世界第一部）全面和系统地论述火箭与喷气推进科学技术的专著。

1946年暑期，冯·卡门教授因与加州理工学院当局有分歧而辞职。作为冯·卡门的学生，钱学森也离开加州理工学院，再到麻省理工学院任副教授，专教空气动力学专业的研究生。1947年初，经冯·卡门推荐，36岁的钱学森进入了麻省理工学院正教授行列。同年夏季，钱学森向麻省理工学院当局请假回国探亲，9月中旬和蒋英结婚。蒋英是蒋百里、蒋左梅夫妇的三女儿，是在维也纳和柏林受过良好音乐教育的女高音声乐家，成绩优秀，口试成绩也是Magna Cum Laude，这对中国人来说是很不容易的。其父蒋百里是旧中国著名的军事理论家、教育家，曾担任中国保定军官学校校长。

结婚以后回到美国，钱学森开始在麻省理工学院任教，1949年又回到加州理工学院任教，成为终身受聘的“戈达德教授”，并兼任喷气推进实验室主任的职务。这时，由于他在科研和教学工作上的成就，其声望已接近30年代的冯·卡门，他在古根海姆大楼里，用的就是卡门从前的办公室。而卡门这时作为美国政府的顾问，在巴黎参与联合国科教文组织组建国际宇航协会的工作。

20世纪40~50年代，钱学森在火箭与航天领域提出了若干重要的概念：在40年代，提出并实现了火箭助推起飞装置（JATO），使飞机跑道

距离缩短；在 1949 年，提出了火箭旅客飞机概念和关于核火箭的设想；在 1953 年，研究了行星际航行理论的可能性并提出从卫星轨道上起飞的可能。他这些超前的设想和科学的预见，已被后来航空航天技术的发展所实现。他所提出的火箭旅客飞机概念，其实就是美国后来航天飞机的雏形。但他在 40 年代末提出这一科学设想时，并未得到广泛的赞同，而且在美国科学界引起了极大的轰动，有人说他“疯了”，有人则称赞他是一位“科学天才”。



钱学森在美国加州理工学院给研究生讲课：关于远程商用火箭作洲际飞行问题（时间大约在 20 世纪 40 年代末期）

钱学森在美国主要是从事航空和火箭技术的理论工作，但他也直接参与工程实践。1940 年他受冯·卡门的委托，为加州理工学院古根海姆航空实验室设计建造弹道试验用的超声速风洞，他为这项工程的设计进行全面的方案论证和分析计算，并组织实施这一工程项目；1947 年，他又和别人合作，为麻省理工学院设计建造了中间规模的高超声速风洞。正是由于

他在国外奠定的这些深厚理论知识和工程设计经验，成为他回国以后在技术上全面领导我国火箭导弹和航天事业的基础。

钱学森在美国从他所从事的航空和火箭导弹的研究中得到启示，认为航空发动机实为一高效的化学反应器，因为它具有体积小、反应快、冷却迅速，因而效率高，而且可以精确地加以控制等优点，所以可以运用航空发动机所依据的气体动力学原理，设计制造出高效的化工反应器。他为此专门设计计算了用燃气透平来生产一氧化氮和其他化工产品的方案。

由此可见，钱学森早年的专业特长虽属航空和火箭导弹等军事科技领域，但他那时就注意到这些尖端科技有可能转为民用，从而推动民用工业以至整个国民经济的发展。他回国后在广泛的科技经济领域发表了许多精辟的见解，是与那时的思想和学术基础一脉相承的。他将风洞原理用于风车发电是这方面的另一个典型事例。他在这项研究的实例计算中，根据祖国的自然条件，所选取的高度从海平面起到海拔 8 公里以上，其爱国之情跃然纸上。

第五章

曲折的回国历程

9 他抵得上3~5个师的兵力

早在 1947 年钱学森回国探亲期间，曾应邀在浙江大学、交通大学和清华大学讲学。他在北平讲学期间，住在老一辈物理学家叶企孙家里。当时国民党政府通过胡适出面，邀请钱学森回国，出任北京大学校长或交通大学校长等职，叶先生问他意下如何？钱学森表示："目前国内局势战乱不止，各级政府又腐败无能，在这种形势下，我不能回来为国民党装点门面。"于是，叶先生告诫他说："你要不愿意，那就赶快走，晚了恐怕就走不成了。"他听明白了叶企孙话中的含义，立即返回上海，对新婚不久的妻子蒋英说："我得立即去美国，你来不及和我一同出发了。但我走后你要快点收拾行李，尽早来美国和我会合。"他就这样又匆匆去到美国，等待回国的适当时机。

到 1948 年，祖国的解放事业胜利在望，钱学森看到了国家的希望，这才开始准备归国。为此他首先要求退出美国国防部空军科学咨询团，但他的这个要求直到 1949 年才得以实现。他兼任的美国海军炮火研究所顾问的职务，也是到 1949 年秋从麻省理工学院回到加州理工学院就任喷气推进技术的"戈达德教授"职务时才辞去的。

1949 年 5 月 20 日，钱学森收到美国芝加哥大学金属研究所副教授、研究员、留美中国科学工作者协会（简称留美科协）美中区负责人葛庭燧（曾任中国科学技术大学教授）写来的信，他在信中同时转来 1949 年 5 月 14 日曹日昌教授（中共党员，当时在香港大学任教）写给钱学森的信，转达即将解放的祖国召唤他返国服务，领导新中国航空工业建设之切切深情。

这时钱学森还看到周培源给林家翘的信，信中周培源以极其兴奋的心情，告诉他们解放前夕解放军占据北京西郊的良好境况，这更增加了钱学森回国的信心。

就在同时，钱学森和他身边的另一位好友，在加州理工学院当研究生

的罗沛霖兴奋地讨论回国的问题，罗曾经以非党技术人员身份在延安工作过，他向钱学森谈了许多在延安的所见所闻，并认为钱学森回国，为解放了的祖国服务的时候到了。

钱学森遂加紧了回归祖国的准备，以便实现他多年的夙愿。所以他对妻子蒋英说："祖国已经解放，我们该回去了。你现在正怀孕，行动不便，等孩子生下来，我这个学期的书刚好教完，那时我们就回祖国去。"

但到第二年，美国国内的政治形势发生骤变，麦卡锡主义横行，全国掀起了一股反共浪潮和要求雇员们效忠政府的歇斯底里狂热。几乎每天都发生对大学和其他机构进行审查或威胁性审查的事件，加州理工学院也未幸免。

30年代，钱学森由马林纳介绍，曾参加过当时加州理工学院的马列主义学习小组，也结识该小组的书记、化学物理助理研究员S·威因鲍姆(Weinbaum)。小组曾学习过恩格斯的《自然辩证法》和《反杜林论》；每星期例会常讨论时事，主题是反法西斯和主张人民阵线；小组还参加过美国共产党书记E·白劳德（Browder）的几次讲演会。这时马林纳已逃到法国，威因鲍姆被捕下狱，于是怀疑落到钱学森头上。

1950年6月，两名美国联邦调查局的人来到钱学森的办公室，指出钱学森30年代在加州理工学院时的几位朋友都是共产党员，而威因鲍姆家的聚会实际上是共产党的小组会议。在1938年小组的一份成员名单里，有一个叫约翰·德克尔（John Decker）的名字。由于查不到此人的下落，于是，他们指控钱学森化名约翰·德克尔，是共产党员，属非法入境。他们还要求钱学森提供证据，指证威因鲍姆是共产党员。

钱学森义正词严地驳斥了这些指控，说他从没有听说过约翰·德克尔这个名字。钱学森更不愿为联邦调查局作证，指控威因鲍姆是共产党员。当年联邦调查局的报告这样写道："钱学森说，作为一名科学家，他只能根据事实来判断一个人的价值或忠诚，这些模糊的事实无法确认一个人的忠诚或政治信仰，据此，他无法对别人进行臆测。"

钱学森的强硬态度令美国当局大为恼火，1950年7月，他们取消了钱学森参加机密研究的资格，移民局要驱逐他出境。

钱学森当机立断，决定马上以探亲为名回国，并订了飞往香港的加拿大太平洋航空公司的机票，准备一去不返。蒋英则雇了一家包装公司，将他们的家具行李，特别是书籍和资料打包装箱，准备托运回国。

但是，美国国防部认为钱学森太有价值了，他们要插手此事，不能让司法部和移民局以任何名义放钱学森回共产党的中国。美国五角大楼（即国防部）海军部副部长金贝尔（Dan A.Kimbeel）在获知钱学森要离美回国以后，立即给司法部打电话说："无论如何都不要让钱学森回国。他太有价值了，在任何情况下都抵得上3~5个师的兵力。我宁可毙了他，也不要放他回共产党中国。"

此后，莫须有的罪名接踵而至：海关扣押了钱学森的所有行李，诬蔑他企图携带"机密资料"出境，触犯了《出口控制法》，勒令他"不准离境"。尽管钱学森声明，所有带机密性质的东西都锁在办公室的保险柜里，钥匙已交给克拉克·米尼肯（Clark Millikan）。他带走的都是个人物品，他的笔记本、讲义手稿、公开资料等。所谓机密性质的蓝图和密码本，只不过是他手稿中的草图和对数表。但也无济于事，司法部还是签署了逮捕钱学森的命令。

10 我忠于中国人民

1950年9月7日，听到敲门声，产后刚刚满月的蒋英抱着女儿永真把门打开，门口站着两个陌生的彪形大汉，口称要找钱学森。蒋英看来者不善，未让他们进屋。钱学森从书房出来，问什么事，并在门口和陌生人说了几句话，他们向钱出示了逮捕令。

于是钱学森转过身，用平静的口气对妻子说："他们让我跟他们走。"蒋英立即明白是怎么回事了。她给钱学森拿了洗漱用具，抱着哇哇哭叫的女儿，用愤怒的目光，看着丈夫被人抓走。

钱学森被抓走以后，蒋英面前剩下的是一个刚满周岁满地爬的儿子永刚和一个襁褓中的女儿永真；房屋四周则布满了联邦调查局的特务，他们那一双双贼一样的眼睛，盯着钱家的门窗。这位处于敌人监视下的中国女性没有掉一滴眼泪，也没有被吓得手足无措，她立即拨通了加州理工学院

校方的电话，告诉他们钱学森被捕的消息。

加州理工学院的同事们听说钱学森被捕，感到极大地震惊，他们都不相信罗列在这位正直科学家头上的罪名，并冒着风险，向蒋英伸出援助之手。校长李·杜布里奇（Lee DuBridge）去华盛顿为钱学森说情；弗兰克·马勃让妻子奥拉·李·马勃（Ora Lee Marble）代蒋英在家照看孩子，而马勃本人则开着车带蒋英去寻找愿为钱学森辩护的律师。

朋友们很快打听到钱学森被关在洛杉矶以南一个叫特米诺岛（Terminal Island）的联邦调查局的监狱里。

经过努力，蒋英被允许探监，还是马勃为她开车。蒋英来到这所戒备森严、岗哨林立、荷枪实弹、周围拉着通电铁丝网的“自由王国”中的地狱。好心的马勃看到这种情况，心里发怵，他小声问蒋英怕不怕。蒋英说：“不怕，我小时候在中国，就到南京国民党监狱去探视过我的父亲(1930~1932 年蒋介石曾把蒋百里关押在南京监狱)。”

蒋英看到钱学森被关在一间昏暗的小牢房里，脸色苍白，面容憔悴，几天时间已被折磨得不成人形。和他说话，他不回答，只能把脸绷得紧紧地点头示意。蒋英心里十分难过，她知道，丈夫已失去了语言的能力。于是她不再多说什么，仅只告诉他：“该办的事情我都在办。”钱学森点点头。狱警催促时间已到，蒋英只得匆匆离去。

经加州理工学院朋友们的抗议和多方努力，15 天后钱学森被保释出狱，赎金 1 万 5 千美元。这在当时，是一个不小的数字，与那时一般 1 千或 2 千美元的绑架案相比，钱学森案件可谓大案。他又是一位著名科学家，帮助他的朋友之中，多有社会名流。因此钱学森事件在当年曾在美国社会引起不小的轰动，新闻媒介争相报道。

蒋英后来说：“当时听说要这么高的赎金，真把我吓坏了，幸亏朋友们热情地帮助，才把他救出来。”我们至今仍念念不忘如 W·R·西尔斯(Sears）教授、F·马勃（Marble）教授、M·米尔斯（Mills)、登肯·兰尼(Duncan Rannie）等等在危难之中向他们提供的帮助和表示的真诚友情。

出狱几天以后，钱学森才慢慢恢复说话能力，他对那段日子不堪回首。他作为要犯，被关在单人牢房，不准与别人接触，不准说话。监狱里空气浑浊，伙食极差。更令人不能忍受的是，夜间每隔 10 分钟狱警“啪!”的一声把电灯打开，察看他是否确在，弄得他整夜整夜不能入眠。15 天的时间，他的体重减轻了 30 磅。

出狱后他仍无人身自由，在美国羁绊达5年之久。

联邦调查局和移民局根据麦卡锡法案，继续对他进行监视和跟踪。按规定每个月他必须到移民局去报到一次，以证明他没有逃离美国。而且圈定他的活动范围只能在洛杉矶，越雷池一步，都要向移民局申报。

其间，联邦调查局和移民局为查清钱学森是否共产党员，还多次举行所谓的“听证会”，对钱学森进行审讯。然而，在听证会上，他们拿不出一件确凿的证据，证明钱学森有罪。雇用的两名“证人”像两个傻瓜，被钱学森反问得语无伦次。一会儿说：“他就是约翰·德克尔。”一会儿又说他们不认识钱学森。

检察官是一个极端刁钻的家伙，他在一连串例行提问以后，突然问钱学森忠于什么国家的政府。

律师抗议说：“这个提问对澄清钱学森案没有直接的意义。”

但法官裁定：“抗议不成立。”

于是钱学森略作思考，回答说：“我是中国人，当然忠于中国人民。所以我忠心于对中国人民有好处的政府，也就敌视对中国人民有害的任何政府。”

检察官追问：“你说的‘中国人民’是什么意思？”

钱学森答：“四亿五千万中国人。”

检察官紧逼不放，说：“这四亿五千万人现在分成了两部分，那么我问你：你是忠于在台湾的国民党政府，还是忠于在大陆的共产党政权？”

钱学森答：“我认为我已经说过我忠于谁的原则了，我将根据自己的原则作出判断。”

检察官再问：“你在美国这么长时间，你敢发誓说，你是忠于美国政府的吗？”

钱学森答：“我的行动已经回答了这个问题，在第二次世界大战中，我用自己的知识帮助美国做事。”

检察官穷追不舍，又问：“你现在要求回中国大陆，那么你会用你的知识去帮助大陆的共产党政权吗？”

钱学森毫不示弱，说：“知识是我个人的财产，我有权要给谁就给谁。”

检察官又说：“那么你就不让政府来决定你所应当忠心的对象吗？”

这一下钱学森可抓住了他的把柄，义正词严地回答说：“不，检察官

先生，我忠于谁是要由我自己来决定的。难道你的意愿都是美国政府为你决定的吗?”

检察官狼狈不堪。第二天洛杉矶报纸上的大字标题是：“被审讯的不是钱学森，而是检察官!”

然而在科学和教育界，正直的科学家和教授们都深信钱学森是无辜的，几所著名的高等学府争相聘他为教授。最后，他还是接受了加州理工学院的好意，继续在那里任教，并将自己的科研方向，转向不带机密性质的理论工作，即工程控制论和物理力学等。

在这 5 年的漫长岁月里，钱学森在精神上受到极大的压抑。联邦调查局的特务日夜监视着他，监听他的电话，拆检他的信件。他们还不时打来电话，或假装找人走错了门来核查他是否确在，经常对他家进行骚扰，使他不能安心工作和休息。

一次，一个联邦调查局的特务敲开了钱家的门，他一眼看见钱学森，便立即表示歉意：“啊，对不起，先生，我找错门了。”

钱学森冷冷地说:“你没有错,先生,我在家好好的,你大可放心了。”

他刚转身要走，钱学森又说：“我想，干你们这一行的，应该学得聪明一些，怎么能用欺骗小孩子的办法来对付一位教授?”特务满脸羞愧，匆匆而去。

有时联邦调查局的特务又假装成记者，“跟踪采访”钱学森，企图从他嘴里套出点什么。对付这一招，钱学森也有自己的“锐利武器”。

一天，一个鬼鬼祟祟的人跟踪钱学森，声称他是当地一家报纸的“记者”，要求采访钱学森出狱后的工作和生活情况。

钱学森并不正面回答他的问题，只说：“我没听说过这家报纸，也从来不读那些低级趣味的报纸。”一句话噎得“记者”张口结舌，半天说不出话来。

钱学森晚年曾说：“当年我对那些特务毫不客气，总是骂得他们抬不起头。他们知道我的厉害以后，再不敢接近我，只得站得远远地监视。”

在另一方面，钱学森也尽力避免和朋友们接触，以免使别人受到牵连。一位朋友从外地来洛杉矶，怀着好意去看望钱学森，使他们夫妇深为感动。在接受了朋友的好意之后，他们劝他尽快离开。不料，此后不久那位朋友就莫名其妙地丢掉了自己的工作。可见当时美国的迫害行为到了何种程度。

11 周总理指示……

1955年5月，钱学森夫妇从一张海外华人的报纸上看到关于中国“五一节”的报道，其中有他们所熟悉的陈叔通和毛主席等党和国家领导人一起站在天安门城楼上，检阅游行队伍的消息。钱学森的父亲钱均夫在“求是书院”读书和教书时就认识陈叔通，两家人可谓世交。

这消息使他们十分激动，于是他和妻子商量如何能和陈叔通老先生取得联系，通过他营救他们回国。他们书写了给陈叔通的信，说他们“无一日、一时、一刻不思归国，参加伟大的建设高潮”，“心急如火，惟恐错过机会”，请求祖国帮助他们早日回国。

1955年6月的一天，钱学森和蒋英带着书信，来到附近的一间小咖啡馆，钱学森在门外和特务纠缠，机敏的蒋英立即溜进咖啡馆，将给陈叔



为争取回国，钱学森给陈叔通的信

通的信，夹在给比利时的妹妹蒋华的家书中，投进了邮筒。

信寄到比利时，蒋华则将这封不同寻常的信平安地转寄到国内。

陈叔通先生收到信的当天，就把它送到周恩来总理手中。

1955年8月1日，中美大使级会谈在日内瓦开始。周总理立即指示王炳南大使，以钱学森这封信为依据，与美方进行交涉和斗争。尽管会谈开始时美国大使U·艾里克西斯·约翰逊（U.Alexis Johnson）矢口否认美国政府扣留了任何中国公民，并不肯提供在美国的中国侨民和留学生的情况。但当王炳南大使拿出钱学森的信，并当场宣读以后，约翰逊哑口无言了。他立即要求休会，并请示美国国务院。据一份资料透露，国务院又请示总统。当时的美国总统艾森豪威尔说："让他回去吧！"在这种情况下，美国政府才允许钱学森离美回国。

1955年8月5日，钱学森接到美国政府的通知，说他可以回国了。

当钱学森夫妇接到这一通知时，其高兴心情是可以想像的，他们立即去买机票或船票，生怕夜长梦多，形势有变。当他们听说最快启航的克里夫兰总统号远洋船只剩下三等舱船票时，他们的决定是，不管几等舱船票，只要能早日离美回国就行。等他们上了船才知道，这艘船上并不是已没有头等舱、二等舱船票，而是故意不卖给他们。

这一天终于盼到了。1955年9月17日，钱学森一家登上了克里夫兰总统号轮船，加州理工学院及喷气推进实验室的朋友们赶到码头欢送他们。码头上挤满了送行的人群和采访的新闻记者。朋友们对钱学森一家怀着深深的惜别之情，送了许多鲜花和礼品。由于三等舱太小，这些珍贵的礼品只好堆放在船舱过道上。钱学森这一天心情很好，愿意回答记者的提问。记者们七嘴八舌提了一连串的问题：无非是他为什么会被关押；回国以后有什么打算等等。他不可能一一回答，便说："我很高兴能回到自己的国家。我不打算再回美国，我已经被美国政府刻意地延误了我回祖国的时间，个中原因，建议你们去问美国当局。今后我将竭尽努力，和中国人民一道建设自己的国家，使我的同胞能过上有尊严的幸福生活。"听众们注意到，他特别加重了"尊严"（dignity）一词，这其中蕴含了多少内心的痛苦和磨难啊！

由于人群拥挤，一些朋友甚至无法走近他们作最后的道别，钱学森一家只好在甲板上向他们挥手致意。

应记者的要求，他们在甲板上照了相。钱学森西服革履，面带胜利的

微笑，蒋英着长裙短褂，气质高雅，两个稚气未脱的孩子都梳洗得干净整洁，十分可爱。



1955年钱学森一家回国途中在克里夫兰总统号轮船上

然而照完相，美国当局却向钱学森宣布，他在旅途中不能离船，否则他们将不能对他的人身安全负责。钱学森当然理解这些威胁性语言的含义，所以，在船上他仍被当做犯人一样对待，没有人身自由。

船到公海，同船归国的中国留学生们（约二十几人）都来看望钱学森一家。他们认为，像钱先生这样的世界著名科学家坐三等舱是很不合适的，于是联合起来向船长提出抗议。船长迫于无奈，才在日本的横滨将钱学森一家从三等舱换到头等舱。

中途，船到菲律宾的马尼拉港口靠岸，一群记者拥向甲板采访钱学森。一名记者问钱学森究竟是不是共产党员。钱学森理直气壮地回答说："共产党员是无产阶级的先进分子，我还没有资格当一名共产党员呢！"那些记者讨了个没趣，知道从钱学森嘴里捞不到什么东西，都灰溜溜地下船了。

12 危难中创立工程控制论

在 1950 年到 1955 年这一段争取回国的时间里，钱学森因受到特务监视，失去人身自由，这给他在精神上造成很大压力，社会活动和学术活动也很少参加，他在加州理工学院将自己的主要精力放在教书和研究工作上。他的老朋友 F.马勃教授晚年不无敬佩地说，环境的险恶并没有吓倒这位执著的科学家，他在不到半年的时间里，很快调整了自己的心态，以坚强的毅力和非凡的才华，在工程控制论和物理力学两个领域，又做出了开创性的研究成果。

1949 年 N.Wiener（维纳）发表了《控制论》一书，其英文书名是《Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine》（《控制论，在动物和机器中的控制和通讯问题》），开创了控制论这样一门新的学科。从维纳所起的书名便可以看出，控制论是关于既是机器中又是动物中的控制和通讯理论的一门科学，研究的主要问题是一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质以及整个系统的运动状态。由于维纳的理论中并列包含了机器和动物，在一开始并未被科学界普遍接受，特别是苏联哲学界，认为“控制论是为帝国主义服务的反动哲学”。

钱学森基于自己在火箭技术方面的丰富知识和经验，迅速认识到维纳所创控制论的重要性。他很快便运用控制论的原理解决了一批喷气技术中的问题，诸如：火箭喷管的传递函数、远程火箭的自动导航以及火箭发动机燃烧的伺服稳定等问题。

他还意识到，不仅在火箭技术领域，而且在整个工业界和工程技术的范围内，几乎到处都存在着被控制的系统或被操纵的系统；事实上有关系统控制的技术已经有了多方面的发展，因此很有必要用一种统观全局的方法，来充分了解和发挥上述导航技术和控制技术等新技术的潜在力量，以更广阔的眼界，用更系统的方法来观察有关的问题，不仅可以得到解决旧

问题的更有效的新方法，并且可以揭示新的前所未有的前景。

于是，钱学森提出了一门新的技术科学——工程控制论。他首先于1953年底在美国加州理工学院开设了“工程控制论”的课程，接着于1954年出版了英文本《Engineering Cybernetics》（《工程控制论》）一书。这是一门技术科学，它和控制论的不同之处在于，工程控制论旨在讨论和研究在工程中（不包括生物）实现自动控制与自动调节的理论，以及自动控制与调节系统的结构原理。

该书的出版在世界科技界引起广泛注意，后被译成德、俄、中等多种文字出版发行。它一方面奠定了自动化科学技术的理论基础，另一方面又指出了这一新的技术科学进一步研究和发展的方向。有趣的是，俄文版的发行，还为平息苏联对《控制论》创始人维纳的批判起到了积极的作用。

1956年《工程控制论》获中国科学院“自然科学一等奖”，1981年《工程控制论》（修订版，由宋健修订、增补）获“国家优秀科技著作奖”，1995年修订版又获“国家图书奖”，1997年获“国家科学技术进步奖（科技著作类）”二等奖。

钱学森关于物理力学的研究也是在这一时期取得成果的。1946年，他将稀薄气体的物理、化学和力学特性结合起来研究，是先驱性的工作。他起初从事这项研究的目的，仅仅是为了搞清火箭发动机中气体的物理和化学性能。因为这时气体处于高温高压的极端条件之下，这些性能参数无法用实验手段测得。怎么办？他设想通过理论计算，获得这些参数。他凭借自己深厚的数学和物理根基开始这项研究，并取得成果。

于是1953年他正式提出物理力学概念，主张从物质的微观规律确定其宏观力学特性，改变过去只靠实验测定力学性质的方法，大大节约了人力物力，并开拓了高温高压流体力学的新领域。在此期间，钱学森发表了《液体特性》、《气体在高温高压下的热力学性质》、《关于谱线吸收系数的某些积分的计算》等数篇论文，并在加州理工学院开设了“物理力学”课程，编写了《物理力学讲义》。这一著作直到回国以后，才于1961年正式出版。

钱学森在回国前夕同妻子蒋英带着幼儿钱永刚、幼女钱永真向他的老师告别时，将新近出版的《工程控制论》一书送给冯·卡门。这位年过古稀终生未娶的老教授，这时已感到生活的孤独。他觉得在钱学森最困难的时候他远在欧洲，未能对他的学生提供强有力的帮助，因而感到有些内

疚。今见钱学森一家来向他辞别，显得有些伤感和激动。他迅速翻看了一下这部新著，两眼噙着泪花，饱含感情地说："你现在学术上已经超过我了，我为你感到骄傲。"他和钱学森握过手，又吻别了两个孩子，拿出自己晚年的彩照，题写了"不久再见"几个字，并迅速签上他的名字，送给钱学森，表达他恋恋不舍之情。

13 祖国，我终于回来了！

钱学森后来回顾在美国的经历时说："我从 1935 年去美国，1955 年回国，在美国呆了整整 20 年。这 20 年中，前三四年是学习，后十几年是工作，所有这一切都是在做准备，为的是日后回到祖国能为人民做点事。我在美国那么长时间，从来没想过这一辈子要在那里呆下去。我这么说是有根据的。因为在美国，一个人参加工作，总要把他的一部分收入存入保险公司，以备晚年退休之后用。在美国期间，有人好几次问我存了保险金没有，我说一块美元也不存，他们感到很奇怪。其实没什么奇怪的，因为我是中国人，根本不打算在美国住一辈子。"

从 1935 年踏上美国国土，到 1955 年回国，在这 20 年的时间里，钱学森从一名勤奋的学生，成长为一名世界著名的科学家，在美国加州理工学院的科学成就是他一生的巅峰之一，他也为美国加州理工学院的教学和科研工作，做出了杰出的贡献。为此，1979 年他获美国加州理工学院"杰出校友奖章"（The Distinguished Alumni Award），这是一项不可多得的殊荣。

然而，20 世纪 70 年代末，钱学森正工作在我国国防科研第一线，他不可能到美国去接受这一荣誉。而加州理工学院也有严格规定，凡本人不亲自到场，就不发给奖章和证书。所以钱学森的奖章和证书就一直陈列在加州理工学院的展室里。直到 22 年以后，也就是 2001 年，钱学森 90 大寿前夕，加州理工学院校长巴尔的摩（Baltimore）考虑到钱老对加州理工

学院的杰出贡献，才主动与中国方面联系，破例派F·马勃教授专程到中国来，把该校的最高荣誉——“杰出校友奖章”和证书颁发给钱学森。全国政协副主席、中国工程院院长宋健主持了颁奖仪式，马勃代表巴尔的摩致辞，年已90岁的钱学森卧床接受了这一崇高的荣誉，并用英语致答谢辞。马勃回到美国以后，曾接受加州理工学院校报记者的采访，他在谈话中认为，在钱老床前的授奖仪式，“为钱学森与加州理工学院错综复杂、永远不会完全分隔的关系最终画上了圆满的句号。”

1955年10月8日清晨，经过二十几天的海上航行，略感疲倦的钱学森睁开双眼，隔着舷窗的玻璃，看到太平洋彼岸的巨大岩石渐渐映入眼帘，克里夫兰总统号正慢慢驶入香港。他一下子兴奋起来。钱学森后来写道：“我热切地望着窗外，经过这20年漂泊在美国的岁月之后，现在我终于要回到家乡了。”

祖国和人民也热切地盼望着他的回归。由于香港当时属英国殖民地，社会情况十分复杂。为了钱学森和这一批中国学者及留学生的安全，中国政府想得非常周全，通过设在香港的中国旅行社与港英当局联系，派驳船直接到海上去接钱学森等一行人，绕过香港岛，把他们安全地直送九龙登岸。当他们来到九龙，准备搭乘火车到深圳时，他们的行踪还是被新闻媒体发现了，一大群猎奇的记者等候在候车室，簇拥着要求采访钱学森。英国殖民警察虽层层设防，但终究挡不住记者的人流。钱学森急于回乡，真不想搭理他们，但又无可奈何。

记者：钱先生，你什么时候开始被监禁的？

钱：怎么，你不知道这个？

记者：你的书籍和行李都带回来了吗？

钱：大部分。

记者：为什么会被查扣？

钱：你应该去问美国当局。

记者：所有在美国的中国留学生都希望回国吗？

钱：你应该明白这一点。

记者：你能告诉我们，你有哪些朋友还未获释？

钱：这是美国当局的事，我不想回答这个问题。

记者：美国领事馆有人来问你什么吗？

钱：你为什么不自己去问问美国领事馆？

记者：你何时和太太结婚的？

钱：这个问题离题了。

记者：你的儿女出生在美国吗？

钱：是的。

记者：如果你的儿女出生在美国，那么他们是美国公民吗？

钱：这个你可以自己去查。

记者：你儿女会说中国话吗？

钱：这是我个人的家事，我拒绝回答。

一位香港记者用英语问了一个问题。

钱：我想每个中国人都应该讲中国话。

记者：我只会讲广东话和英语。

钱：我想普通话在中国用得很普遍，而你是中国人，应该学会讲普通话呀！（众笑）

对于这帮记者，钱学森后来说："同样的问题，同样的心态，一如我在洛杉矶上船那天碰到的记者一样。我和这些人没什么可谈的。"

当这些失望的记者终于消失之后，他们才能继续上路。火车载着钱学森一家和同船归国的中国学者及留学生们到达深圳。他们被香港的殖民地警察"押解"走过一座小桥，对面的海关小楼上，五星红旗在向他们招展，广播里传来了欢迎他们归国的贺词。越过一个铁栅门，他们才算真正回到祖国大陆的怀抱。

中国科学院派来的代表朱兆祥和广东省政府的有关人员在桥头迎接，他们受到了热烈的欢迎和热情的接待。

在深圳海关接待室，这一群中国学子抑制不住内心的喜悦，互相道贺，欢声笑语，庆祝他们胜利归来。钱学森走到物理学家李正武、孙湘夫妇面前，伸出双手，高兴地说："正武兄、孙湘妹，这下可回到祖国了，恭贺恭贺！"长时间地互相握手、道贺。

接下来办理入境手续。钱学森指着几个大木箱子对朱兆祥说："这就是1950年被美国政府无中生有地诬陷为'携带机密资料出境'的箱子。

出于抗议和期待，这几个箱子5年来始终处于原封不动、待机启运的状态，现在它们也终于进了祖国的大门。"

党和政府对他们的关怀和照顾无微不至。中共广东省委书记陶铸会见了钱学森，并安排他在广州参观访问。陶铸向钱学森介绍了祖国各地和广东省各项建设事业欣欣向荣的景象，令他耳目一新。为此，他在广州新华书店专门买了《第一个五年计划》和《中华人民共和国宪法》等小册子，认真阅读和学习。陶铸还讲到解放后中医事业的发展，令他印象深刻。他晚年在从事人体科学研究时，多次提到，关于中医问题，他过去一无所知，给他上第一课的是陶铸同志。

在朱兆祥的陪同下，钱学森一家于10月13日回到上海。74岁的老父钱均夫亲到车站迎接，他知道儿子喜欢绘画艺术，专门买了一套中国名画的画册送给他。这位年过古稀的老人第一次见到孙儿孙女，十分欣慰。



1955年10月，钱学森一家回到上海与老父亲钱均夫团聚

钱学森对上海的变化惊叹不已。街道干净整洁，没有乞丐，没有小偷，也没有趾高气扬的洋人。取而代之的是衣着朴素的男男女女，扎着红

领巾的少年儿童。在商店里，商品琳琅满目，价格便宜，再不需讨价还价……新鲜事儿令他目不暇接。他在上海参观了母校交通大学，拜会了他的老师和朋友，回杭州老家探亲以后，便又匆匆乘上火车，于 10 月 28 日抵达首都北京。

第六章

创建中国科学院力学研究所

钱学森一家回到北京，受到中国科学院的热烈欢迎，他们一家被临时安排住在北京饭店。他自己做的第一件事，就是在翌日清晨带领全家来到天安门广场，目睹毛主席宣布“中华人民共和国成立了，中国人民从此站立起来了”的神圣的地方。面对着雄伟的天安门城楼，钱学森感叹道：“我相信一定能回到祖国，现在终于回来了！”

对比二三十年代他居住的旧北京的景况，新北京真是发生了翻天覆地的变化。钱学森怀着兴奋和好奇的心情，带领全家人步行到王府井大街转转，也顺便去新华书店买几本书。他们的行踪立即被中央有关领导同志知道了，于是通过中国科学院给钱学森安排了一辆专车，并告诉他，出门一定要有人陪同，并乘车前往。

钱老晚年曾回忆说，他住北京饭店期间，在一次宴会上曾听、看过侯宝林的相声。这又使他感到惊叹。他说，自己打小长在北京，也去天桥听过相声。但解放后的相声跟解放前天桥地摊的相声可大不一样了，格调高雅，内容健康，那简直是一门语言艺术，真了不得。他那时就认为，侯宝林称得上是位艺术大师。后来由于工作繁忙，他很少参加文艺晚会，也无暇再听侯宝林的相声了。谁知 20 年后，他却与侯宝林戏剧性地再次相会。那是在 1975 年元月，“文化大革命”尚未结束。在毛主席的支持下，周总理抱病主持召开四届人大一次会议。由于“四人帮”的干扰，这个会开得很不容易。在邓小平的协助下，周恩来带病筹备这次会议。当会议文件和人事安排等一切都准备就绪以后，周恩来亲赴湖南，向毛主席作最后的请示汇报。当周总理将会议文件，其中包括人大代表名单呈主席审阅时，这时毛主席身体不好，精力已经很差了。他摆摆手说：“不看了。但我想起两个人，一个是钱学森，一个是侯宝林，请你查查人大代表里有没有，如果没有，就把他们补上。”周总理回京后立即查实。结果，钱学森是人大代表，而侯宝林还关在“牛棚”里。这才立即派人把侯宝林“解放”出来，直送人民大会堂，参加四届人大。也许由于这个原因，会议期间，有关方面特意安排钱学森和侯宝林在休息室合影。一位科学大师和一位艺术大师亲切交谈的照片由此留给了后人。

1993 年侯宝林老先生去世，钱学森这年也 82 岁高龄了。他认为侯宝林去世是我国相声事业的一大损失。他用颤抖的手，把报纸上有关侯宝林的各种报道文章一一剪下来，并粘贴整齐，还指示家人要好好学习侯大师的献身精神。他称侯宝林是“伟大的人民艺术家”！

14 陈赓大将专程赶回哈尔滨

让我们把时间再拉回到 1955 年 10 月钱学森刚刚回国的日子。中国科学院院长郭沫若举行盛大宴会欢迎他，在京的著名科学家和他在美国时的老朋友都来庆贺他的回归。11 月 5 日，当时主管科学工作的陈毅副总理接见了钱学森，代表党和国家欢迎这位爱国的科学家。陈老总亲切幽默的话语和坦荡直率的风格给钱学森留下了深刻的印象。陈老总对钱学森的关怀和期望，使钱学森进一步感受到党的温暖，感到“回家”的温馨。同时他也意识到自己报效祖国的事业就要开始了。

钱学森归国后的科学事业主要分两个方面：一是为中国科学院组建力学研究所，这是中国科学院领导筹划已久的事，今天有了钱学森这位世界力学权威，组建力学所的任务自然是水到渠成了。另一个方面是军队和国防部门对他的殷切期望。关于这后一点，当时还鲜为人知，钱学森本人也没有这方面的思想准备。在他正式开始工作以前，科学院的领导建议他到东北去考察一下，那里有许多新兴工业，又有科学院的一些研究机构。钱学森明白，他的工作必须建立在祖国现有的科研


1955年 11 月，钱学森一家定居北京中关村
（由《新观察》杂志记者拍摄）

和工业基础之上，所以他欣然同意这一正确的安排。东北之行仍由朱兆祥陪同，它虽然是一个插曲，但却与钱学森日后两个方面的事业都有直接的关系。

从1955年11月22日到12月21日，钱学森在东北地区整整参观、访问了一个月。从东北的哈尔滨沿铁路南下，一直到港口城市旅大，参观了当时全国最大的钢铁厂、煤矿、水电站、炼油厂、冶炼厂、化工厂、机床厂、汽车厂、电机厂、飞机厂等等，访问了一些大学和研究所，还应邀在几个研究所和大学里作了学术报告。

此行对于钱学森是非常重要的，一方面他看到了建国6年来祖国社会主义建设事业欣欣向荣、迅速发展的情况，亲身感受到共产党的巨大组织领导力量；另一方面是通过此行完成了他对于组建力学研究所、发展力学事业的构思。特别是通过在哈尔滨工业大学、长春机电研究所和沈阳东北工学院的三次讲演，一次比一次完整地勾画出他的设想蓝图。

从东北回来已是12月下旬，他向科学院领导汇报了他对发展祖国力学事业的设想。科学院院务会议在1956年1月5日召开，会议认为成立力学研究所的条件已经成熟，不必再按常规经过筹备阶段，而可以直接宣布力学研究所正式成立了。从钱学森进入国门到力学研究所成立，总共不到3个月时间，这可能是科学院内成立最快的一个研究所了，科学家们都称赞这是科学院工作的一大进步。

钱学森一行是在11月23日到达哈尔滨的，原来日程安排并无参观哈尔滨军事工程学院一项。但钱学森本人提出，他有两个朋友在哈尔滨，一个叫庄逢甘，一个叫罗时钧，希望这次能见到他们。陪同的朱兆祥事先知道，罗时钧是钱在美国时的学生，而庄逢甘也属学生辈，现都在军事工程学院工作。只因这所军事院校的保密要求很严，所以未敢把参观该校列入日程。第二天一早在出发参观烈士纪念馆前，他只好把钱学森的要求电话报告了中共黑龙江省委。当参观回来时，省委来了电话，说军事工程学院请示了北京，同意钱学森来访。于是改变日程表，第二天一早就去哈军工。

11月25日刚上班，钱学森一行来到哈尔滨军事工程学院。出乎他意料的是，出来欢迎的竟是学院院长陈赓大将，而且他是在清晨乘专机匆忙从北京赶来亲自接待钱学森的。

陈赓是我军的一位儒将，他在欢迎辞中说：“我们军事工程学院打开

大门来欢迎钱学森先生，对于钱先生来说我们没有什么密要保的。那些严格的保密规定，无非是在美国人面前装蒜，不让他们知道我们的发展水平。”他一直陪同钱学森参观了空军工程系、海军工程系、炮兵工程系等。这所学校请了二十几位苏联专家，建设发展速度很快，现代化的风洞、水槽都已建起，实验室里很重视教学演示设备，而且用部队办法管理，井井有条，一尘不染。陈列馆里陈列了许多在朝鲜战场上缴获来的美军轰炸机、坦克、带有电子管能够自动寻的的炮弹等。陈赓手指这些东西，笑着说：“都是些美国人的玩意儿，保什么密。”

在室外的一个小火箭试验台前面，钱学森停了下来。这是一个非常简陋而又原始的固体燃料火箭试验装置，钱学森很有兴趣地和正在安装调试的教师讨论起来。陈赓大将见时机已到，便立即插话问道：“钱先生，您看我们能不能自己造出火箭、导弹来?”钱学森在美国憋了一肚子气，所以他不假思索，脱口而答：“有什么不能的，外国人能造出来的，我们中国同样能造得出来，难道中国人比外国人矮一截不成!”陈赓听到钱学森这句话，开始十分惊异，继而变得兴奋起来，他立即上前握住钱学森的手说：“好，我就要您这句话。”

多年以后钱学森才知道，陈赓是带着国防部长彭德怀的指示，专程赶回哈尔滨，就此专门请教钱学森的。也许是因为这句话，就决定了钱学森从事我国导弹和航天事业的生涯。

15 创建力学研究所

回到北京，钱学森一方面投身到建立中国科学院力学研究所，发展我国力学事业，使力学这门古老而又年轻的科学为我国社会主义建设事业服务；另一方面，为增强我国的国防力量，他又在国家和军队领导同志的鼓励和推动下，投身于我国国防科技事业。

关于建立中国科学院力学研究所，发展我国力学事业的问题，在获悉

钱学森即将回国的时候，当时科学院的领导就和我国力学家周培源、钱伟长商量，拟以钱伟长在数学所的力学研究室为基础，成立力学研究所，并一致推荐钱学森为未来的力学所所长。在钱学森第一次和科学院的领导见面以后，由他任力学所所长之事就确定下来了。

他从东北回到北京以后，便和钱伟长一起，找数学家和力学家座谈，访问北京的几所著名大学和有关研究所等，明确建所方针，拟订建所方案，抽调人员，寻找办公地点等，在不到三个月的时间内，就把力学研究所建立起来了。而且新建的力学所的研究范围已经超出了传统的力学范围，它完全是按照钱学森关于技术科学的思想建立的，实际上，它是一个综合性的技术科学研究所。这既符合力学的长远发展方向，又符合我国社会主义建设的需要。这个建所思想对力学所的发展起了决定性的影响，而且至今仍有广泛的指导意义。

归纳起来，钱学森关于建立力学研究所的思想有以下几个主要方面：

1. 技术科学是介于自然科学与工程之间的一门独立的学科，也可以称之为桥梁。这里所讲的自然科学包括物理、化学和生物学等。数学则是技术科学的不可缺少的工具。技术科学要应用和发展自然科学和数学的理论和手段，解决工程面临的实际问题。技术科学不是工程，它的主要任务是领导工业的发展。就是说，从战略上讲，它应以新概念、新理论、新技术、新方法来武装工业，带动工业前进，并促使它不断发生质的飞跃。换句话说，这就要求从事技术科学的科学家要根据自然科学与工程的现状和发展趋势，有远见地选定超前的研究课题，不断开拓新的领域。技术科学也要解决工程当前面临的问题，但与前者相比，对科学院的研究所来说，这个任务是第二位的。

2. 既然技术科学的对象是工程，那么它就不能像自然科学那样设法把研究对象孤立起来，以研究其精确而又普遍的客观规律为目标。技术科学研究的对象是工程环境下的复杂系统，它追求的是虽不十分精确且带有一定经验性的实用规律，但必须是最大限度上建立在自然科学和数学基础上的。一个好的技术科学家应当有能力从复杂的实际问题中捕捉住主要矛盾，提炼出清晰的物理机制，建立数学模型，通过计算，得出与观测或实验相一致的结果，并可以据此得到工程上有用的定量预测。对于一个复杂的问题，这个过程往往不是一蹴而就的，必须充分掌握所有有关这个问题的事实，运用自然科学的规律作精密细致的思考，经多次反复才能完成。

物理机制、数学模型都是主观的东西，要使主观与客观相一致，必须作出艰苦的努力，没有别的途径。技术科学既然带有一定的经验性，那么它所给出的结论就有局限性，技术科学工作者对此必须十分警惕。

3. 技术科学的目标不是一个具体工程中的个别问题，而是一类或几类工程中带有共性的“一般性”问题。从这个意义上讲，它是关于工程的基本理论。20 世纪初，工程上最急需或首先要用到的是力学，所以应用力学首先得到发展，成为技术科学的先驱和样板。到了 20 世纪中叶，已经可以看到，除应用力学之外，技术科学还应当包括更为广泛的内容，例如凝聚态物质、电子学、核反应、核能和核工程、燃烧、金属的塑性加工成形、运筹学、工程控制论、计算技术、工程光谱学、工程经济学等都应作为技术科学包括的内容。他极力主张学科交叉，提出了化学流体力学、物理力学、电磁流体力学、流变学等。这就是说，技术科学的内容不仅在内涵上要不断深化，而且在外延上也决不可固步自封。

4. 技术科学的性质既然如此，对科研人员的素质自然也就提出了一系列的要求。他认为，技术科学工作者应很好地掌握数学，使它成为自己的工具。要有坚实的自然科学基础并熟悉工程技术中的方法和问题，能把工程技术中的实际问题提高到自然科学规律的水平上来研究。在开发一种新的工程技术时，技术科学工作者首先要能对其可能性、可行性和克服困难的主要途径作出判断。

基于这个基本思想，早在 1956 年 11 月，钱学森就明确了力学所先成立的 4 个研究组和它们的研究方向。这 4 个研究组是：弹性力学组。研究抗（地）震的力学问题，其主要科学问题是非平稳随机载荷下的结构动力学。因为我国是多地震国家，这个领域的应用背景十分明确。塑性力学组。研究描述物质塑性行为的本构理论，其主要科学问题是如何将物质的微观行为，如位错，与宏观行为结合起来。应用背景很广泛。空气和流体动力学组。研究叶栅流动，主要科学问题是叶栅引起的复杂旋涡运动，这与提高喷气机中压气机和涡轮机的效率有密切关系。自动控制理论组。研究工程控制论，这与自动化等技术有直接关系。

1956 年初力学所成立之后，又陆续按照技术科学的思想，建立了化学流体力学组、物理力学组、运筹学组、激波管组、等离子体动力学组等。

力学所成立起来以后，对多数人来说，方向和任务都是全新的。所以

首先遇到的问题是从哪里起步？钱学森又抓了几项打基础的工作：

一、首先要求大家了解和掌握情况，特别是国内外文献情况。因为那是工作的起点，只有这样，才能避免走老路，并以最快的速度前进。他自己带头，建立力学所的资料文献库，每天阅读大量文献资料。

二、开设各种专题讨论班。在那里，不论资历深浅，大家都是平等的，这就是发扬学术民主。这在从哥廷根大学起源，由普朗特和冯·卡门创建的应用力学学派里，早已不是什么新鲜事了。只不过，在卡门主持的美国加州理工学院的古根海姆航空实验室里，讨论早已超越了经院式的模式，工程目标、工业界的参与已经是这类讨论班的一个重要特色了。在力学所，钱学森宣传、鼓励和推行了这种做法。

三、人才和干部培养是建所初期另一个突出的问题。为此，他给当时还在美国的郭永怀写信，推动和促成了郭永怀回国，参与力学所的工作；另一方面，由于应用力学和技术科学的特色，力学所从理工科的多种专业吸收毕业生。进所分配到研究组后，就按指定的方向学习，参加讨论班并参与一定的研究工作，同时强调要在干中学。为了加速干部培养，力学所与清华大学联合举办了力学研究班，从理工科青年助教、应届毕业生和高班大学生中抽调学员，在应用力学方面进行专门训练，以达到研究生水平。此外又在中国科技大学创办近代力学系，他兼任系主任，并亲自授课，按照理工结合的精神，培养新一代的专业人才。

钱学森在中国科技大学讲课时发现，班上农村学生较多，经济都很困难，许多学生买不起计算尺等学习用具。连个计算尺都没有，怎么学习力学？正好这时，他的《工程控制论》一书中文本出版，稿酬有 1000 多元，这在当时是一个不小的数目。于是他毫不迟疑，将这 1000 多元的稿费，捐给了中国科技大学力学系，资助贫困学生买学习用具。直到今天，当年力学系的一些学生还清楚记得，他们一入学，系里就发一个计算尺，并特地说明，这是系主任钱学森送给大家的。

四、他强调技术科学以及作为其一部分的应用力学既然要为工程服务，并领导工业前进，那么就必然要强调研究工作联系实际，发扬合作精神，研究成果必须经得起实践的考验等等。

在力学所，人们看到这位刚刚归国不久的科学家，每天早出晚归，忙忙碌碌，不是开会或找人谈话商量问题，或筹划实验室的建设，就是埋头读书，研究学问，或作学术报告，介绍国内外的发展。他的学术报告不仅

内容新颖、翔实，而且深入浅出，使一些艰深而又复杂的问题变得通俗易懂，生动活泼。所以，每当他作报告，不仅力学所的人踊跃参加，而且科学院其他研究所、大专院校和外地的一些科技人员都赶来北京，聆听他的报告。有人在几十年后，仍对他当年的学术报告记忆犹新。力学所的各项工作也在钱学森的带领下，逐渐走上正轨。



钱学森在中国科学院力学研究所办公室

（1956年钱学森所著《工程控制论》一书获"自然科学一等奖"后拍摄）

第七章

参与制订12年科学规划

16 中国能不能搞导弹？

1956年春，钱学森开始积极参与制订新中国第一个远大的规划——《1956至1967年科学技术发展远景规划纲要》（简称12年科学规划）的工作。这一规划是在周总理亲自领导下，由陈毅、李富春、聂荣臻等领导人具体组织数百名科学技术专家参与制订的。钱学森作为一名火箭技术专家，由他主持，与王弼、沈元、任新民等合作，完成了第37项《喷气和火箭技术的建立》，它将喷气技术和火箭导弹事业纳入了国家长远规划，勾画了这一尖端技术的发展蓝图，对推动这一事业的发展起了重要作用。

他们在规划的说明书中指出："喷气和火箭技术是现代国防事业的两个主要方面：一方面是喷气式飞机；一方面是导弹。没有这两种技术，就没有现代的航空，就没有现代的国防。建立了喷气和导弹技术，民用航空方面的科学技术也就不难解决了。"规划的目标是："本任务的预期结果是建立并发展喷气和火箭技术，以便在12年内使我国喷气和火箭技术走上独立发展的道路，并接近世界的先进技术水平，以满足国防的需要。"他们还规划了大体的进度："1963~1967年在本国研究工作的指导下，独立进行设计和制造国防上需要的达到当时先进性能指标的导弹。"

作为一名世界知名的科学家，钱学森还积极参与了整个规划的制订工作，担任由12名科学家组成的综合组组长，负责整个规划项目的评价、裁决、选择和推荐工作，综合各方面的建议，最终供领导决策。不言而喻，这一工作是十分艰巨而关键的。钱学森是一位学识渊博的科学家，由他担任综合组组长，既是众望所归，又体现了党和国家对一位刚刚回国的科学家的信任和重托。钱学森不负众望，胜利地完成了这项任务。

发展科学技术的12年规划的重要成就，除了制订了57项重大研究任务以外，最重要的是确定了6项紧急项目，即原子能、导弹、电子计算机、半导体、无线电电子学和自动化技术（当时对外只公开了4项，未提原子能和导弹两个保密项目）。为什么会挑选出这6个项目？而且当时所

有科学工作者都一致同意这6项是当时国家最为紧急需要的项目。钱学森可以说是起了举足轻重的作用。

从现在的眼光来看，这6个项目是科技发展全局的关键点或生长点。但是在当时却并不那么显然，而且还有不少争议。譬如说，从国防的角度来看，中国应该重点发展导弹，还是发展飞机？两者的关系又如何？就有不少争议。首先是早在1955~1956年，苏联、美国的人造卫星并没有上天，洲际导弹技术在国外也没有突破。所以当时对于导弹究竟能不能成为一项重要的国防技术，一般人并没有明确的认识，许多人甚至不知道导弹是怎么回事。大家有比较明确认识的倒是飞机。所以当时一个主要的争论是，我们国家要不要搞导弹，能不能搞导弹？导弹和飞机的关系是什么？此一争论在制订12年科学规划时摆到了桌面上。

对此，钱学森在发言中认为，飞机的重要性自不待言，而导弹确是一种新的有巨大威胁力的武器，其作用在二次大战末期已初现端倪，希特勒德国就使用了V-1火箭和V-2导弹。飞机与导弹各有优缺点，在战争中是相辅相成，缺一不可的。飞机的机动性好，但导弹的优点是它的速度快，这在战争中无论是从攻击还是防御的角度看，都是一个重要的战术技术性能指标。

另一方面他又从技术上指出，导弹虽然是一种新型武器，但攻克火箭导弹技术并不见得比飞机更难，从一定意义上说，研制一枚导弹也许比制造一架高性能飞机更容易一些。因为导弹是无人驾驶的一次性武器，而飞机则有人驾驶，且要求多次使用，这在发动机、结构、材料和飞行安全等问题上都有许多特殊的要求。可以说，它是一个更为复杂的问题，需要更为先进的、坚实的工业基础，我们国家目前尚不具备这个条件。他给大家介绍说，发展导弹在技术上也会遇到许多难关，比如制导问题。这也是当时大家不知道导弹为什么会自动飞向目标的一个神秘问题。针对这一情况，钱学森给大家讲解了许多制导的原理，其中包括洲际导弹的制导原理。他对制导技术的方方面面进行了剖析，并由此得出结论说，这个问题在短期内易于突破。所以导弹作为一种现代武器，应及早引起人们的重视，并列入重点项目予以突破。

钱学森的这一具有真知灼见的分析，自然为很多人所接受，并统一了大家对导弹问题的认识。在军队方面，钱学森亲自给我军高级将领作报告，讲解火箭导弹知识，分析导弹在未来战争中的作用。他的讲课深入浅

出，形象生动，使许多科学知识不多的老将军都听得津津有味，并对这一尖端武器产生了莫大的兴趣。

通讯技术既是国防建设上的关键技术，也是经济建设中的重要技术。但是在通讯技术的发展上，当时也有争论。争论的焦点之一，是有线和无线之争。为什么会有相当一部分人主张重点发展有线？这除了有技术上难易等问题以外，最主要的是因为有线易于保密，而保密却是军事技术上一项根本的要求。

为此，钱学森提出意见说，保密当然是通讯技术的重要要求之一。但是有线通讯的局限性太大，不能适应现代战争的多种多样和灵活反应的要求，其严重的弱点是在未来的现代化战争中极易受到破坏。无线通讯将比有线通讯具有更好的更广泛的适应性。至于保密问题，完全可以设法通过其他办法求得适当解决。然而，无线电电子学的重要性还不仅在于通讯，它是民用技术以及现代化国防技术中不可缺少的手段。在工农业、医药卫生等部门都离不开无线电电子学。在国防技术上，如雷达、自动化火炮的设计和指挥等，也都离不开无线电电子学。钱学森还特别地论证了大面积彩色电视在现代战争中的作用，指出大平面显示系统将极大地有利于军事指挥机关对现代战争的监视和指挥。钱学森的这一独到的精辟见解，在当时真是令人耳目一新。由于钱学森等的提倡，一时之下，我国工、农、交通、文教、卫生等各部门都纷纷要求有无线电电子学方面的人员去他们那里工作，一时间无线电电子学人才成为我国人才最短缺的“短线”。

电子计算机在当今时代的重要性是毋庸置疑的。但在当时，这也是一个有争议的项目。电子计算机是那时一项划时代的发明。已知美国的电子计算机每秒能运算 8000 次，这比起手摇电动计算器来真是飞跃式的进步。但是，当时人们的认识也仅限于此，至于电子计算机的快速发展和广阔的应用前景，在当时却并不那么明朗。而计算机能否部分代替人脑工作的问题，从科学技术上来说，一般人存有疑问；从哲学上说，在那个时代，许多人也不敢问津。为此，钱学森举出许多实例，说明推进快速电子计算机研制的重要性，他曾以水轮机的设计为例加以说明。过去为了设计好水轮机，要进行许多实验模拟，理论只能在极其简化的条件下进行计算。现在由于有电子计算机，就可以用数值方法对包含一切因素的复杂方程精密求解。这样就可以在方程式中把影响水轮机设计的种种因素都放进去，这就能在最短的时间以最经济的办法做出最佳的设计。

钱学森还提出，过去数学家所能研究的方程是线性方程，而实际问题中所遇到的却是非线性方程，如流体力学方程。过去由于没有先进的计算手段，对于非线性方程只好采用线性近似的办法，这就丢失了原来方程式中所蕴含的许多特点。有了计算机以后，就可以用数值方法来求解非线性方程，当然也因此提出了发展计算数学的种种理论问题。

钱学森还举出电子计算机可以下象棋的实例，表明可以代替人的部分思维。那时有人怀疑电脑怎么会胜过人脑。钱学森回答说，人的度算远不如电子计算机快捷，人脑工作久了会疲倦。所以，电脑在某些方面能胜过人脑。钱学森还介绍了电脑的记忆功能、逻辑功能，甚而学习功能等等，指明这是极有发展前景的领域。于是，这一重大项目的决策就此确定下来了。

关于自动化技术问题，钱学森也做了很好的论证。他解释了生产过程的机械化和生产过程的自动化在原则上的差别。机械化是只能按一定生产程序而操作的机器；而自动化却是在电子计算机控制下能适应各种不同情况而自动工作的机器。未来工业的发展必然要走向自动化操作。这不仅可节省大量劳动力，而且是保证高质量的产品所必需。尤为重要的是：在未来战争中，必须有自动化的攻防装备，否则就不能适应未来的高灵敏的快速反应的战争需要。

钱学森还特别提出农业耕作的自动化问题。他认为，中国农业的发展不能仅限于机械化，而是必须走向自动化。中国农业发展的特点是精耕细作，按照钱学森的说法是如同绣花一样。所以中国必须发展自动化的农业机械，必须在农业机械的设计上引入控制机。

原子能不是钱学森的专业。但是他也预见到许多重要领域的发展。他曾指出快中子堆的重要性，因为这能增殖燃料。他也曾提倡研究受控热核反应。为此，他在规划研讨会上做过一个如何实现受控热核反应的精彩报告。他指出只要将墙壁做成多孔材料，那么通过液体在多孔介质中的渗漏，将能解决任何大量热能产生后的散热问题。他还指出研究原子能在飞机和潜艇上应用的重要性，因为这能极大地增加续航能力。

钱学森也热情地支持半导体的研究。因为利用半导体将能制成体积小、寿命长并稳定可靠的二极管和三极管，这对发展无线电电子学、自动化技术至关重要。

17 参加规划献宏猷

钱学森除了对上述6项紧急项目的决策做出极其重要的贡献以外，还提出和指出了许多有价值的科学想法。例如，他曾讨论到水翼船对我国国防以及水上交通的重要作用。由于水的密度远大于空气的密度，因而只要用面积很小的翼面，就足以在水中将高速行驶的船体托起，从而将大大减小水的阻力作用，极大地提高舰艇的航行速度。如果将水翼船制成高速行驶的鱼雷艇，就能灵活地避开敌舰炮火的压迫，逼近敌舰放射高速鱼雷。他还曾讨论虹吸现象在小型水利设施中的作用（可避免使用闸门），指出利用虹吸管将有利于小水电的建设，即将小型水轮机放置在虹吸管中并可输出电流。

钱学森也十分重视理论问题的研究。他指出统计物理和量子力学均在工程技术中有重要意义。统计物理可用来计算流体力学方程式中所需用到的状态方程，又指出玻尔茨曼方程对研究飞行物在稀薄气体中飞行轨道问题有重要作用。钱学森还竭力提倡运筹学（Operational Research）的研究。他既谈到运筹学在交通运输以及经济规划中的作用，也讨论到在两军对抗情况下运筹学的运用问题。由于钱学森的提议，在我国才开始了运筹学的研究。这一举措也为后来他大力倡导的系统工程奠定了理论基础。

在钱学森的主持下，当时的综合规划组曾逐项讨论过57项重大科研任务。在讨论这些项目的过程中，钱学森除了从国家经济建设、国防建设需要的角度来审定这些项目的指导思想以外，还总是从现代科学可能的发展前景的角度，提请这些项目的倡议者或草拟者注意现代物理和化学的成就对解决这些重大科研任务的作用和影响。这就使得这些科学研究项目的制订能看到科学技术发展的未来。

钱学森也充分注意到科学技术的发展还需要注意解决自身发展中所存在的一些问题。例如计量基准问题、科技情报问题等等。正是在钱学森的提议下，科技情报系统的建立，也就成为57项重大科研任务的最后一项，

而且，自此以后，我国才开始建立各级和各部门的科技情报研究单位。

在制订12年规划的过程中，钱学森的渊博知识和聪明才智得到了充分的展示，中央首长和科学院的领导对他的工作十分满意。科学院院长郭沫若十分欣喜，并赋诗一首，赠予钱学森："大火无心云外流，望楼几见月当头。太平洋上风涛险，西子湖中景色幽。突破藩篱归故国，参加规划献宏猷。从兹十二年间事，跨箭相期星际游。"



钱学森与毛泽东主席（1956年2月）

第八章

开创我国火箭导弹事业

18 彭德怀、叶剑英先后会见钱学森

作为一名在美国搞了十几年应用力学和火箭导弹技术的科学家，钱学森一回到祖国，同时也受到国防和军事部门的高度重视。陈赓在哈尔滨军事工程学院接待钱学森以后，便立即飞回北京，向国防部长彭德怀汇报了钱学森认为中国人能够搞导弹的信心和看法。于是彭德怀希望尽快见到钱学森，亲自征询他关于中国如何搞导弹的具体意见。所以，钱学森尚未回到北京，彭德怀就几次给科学院打电话，询问钱学森回来没有。

1955年 12 月下旬，钱学森从东北回到北京，不几天，就在朱兆祥的陪同下，会见了彭德怀，在座的还有陈赓。

军旅出身的彭德怀元帅谈话是直截了当的，没有寒暄，没有客套。他说："钱先生，我是个军人，今天找你来，想谈谈打仗的问题。我们不想打人家，但若人家打过来，我们也要有还手之力。"他问钱学森："我们能不能先搞出一种短程导弹，比方说射程 500 公里，这需要什么样的人力、物力和设备条件？估计需要多长时间可以造出来？"钱学森略作思考，回答说："搞导弹当然不是一件容易的事，需要有一支搞研究和设计的队伍，需要建一些地面试验设备，也需要有专门的加工制造工厂，原材料可能需要全国各有关部门的支持。至于人力、物力，这需要仔细估算一下。而时间嘛，美国从军方开始支持搞导弹，到搞出第一枚导弹，用了近 10 年的时间。我想，我们可以比他们快，有 5 年的时间我看是可以的。"

彭德怀听到这位火箭导弹专家这么有信心，非常高兴，又向钱学森请教了一些导弹的技术知识。说起导弹，钱学森当然得心应手。他在美国空军科学咨询团工作过，还在火箭与喷气技术训练班给美国军人讲过课，对军事上的需求也十分熟悉。他将军事与技术结合起来，谈得头头是道。彭德怀听得很有兴趣，觉得听钱学森谈话很长知识和见识，于是对陈赓说："我们的军队不能老是'土八路'，也要学点洋玩意儿，你安排钱先生给我们军队高级干部讲讲课，让大家都开阔眼界，长长见识。"于是钱学森又

在 1956 年元月，给军队高级将领作了火箭导弹技术的讲演。在总政排演场，一连讲了三天，盛况空前，引起我军高级将领的极大兴趣。

钱学森晚年曾说："我刚回国那会儿，是彭德怀首先支持我搞导弹的，这一点今天要说清楚。'文化大革命'以前，他的事我不好说什么，但他是个好人，这点功劳现在应该肯定。他之所以对这件事这么着急，我想跟他亲临朝鲜战场，跟美国人打了一仗有关系。他对现代化的战争有亲身的感受。"

有了这些宣传、普及工作之后，创建我国火箭导弹事业的部署很快就正式启动了。

1956 年 2 月初，一个周末的下午，叶剑英会见并宴请钱学森夫妇。作陪的是陈赓，谈话的主题也是导弹问题。有了和彭德怀谈话的基础，这次钱学森谈得更加具体了，包括人力、物力的估算，人员、机构的设置等等，他已经有了一个初步的设想和蓝图。谈话气氛十分融洽，叶剑英、陈赓听得聚精会神。三人对火箭、导弹的兴趣越谈越浓，他们的心情也愈加迫切。叶剑英便直截了当地提出："希望钱先生在科学技术上主持这件事。"

为祖国效力是钱学森的夙愿，祖国的强大是他梦寐以求的理想。所以钱学森并不犹豫，当即表示，他感谢领导的信任，将努力为之。

叶剑英看到时机已经成熟，便立即起身说："今天是周末，总理他们可能在'三座门'（军委办公地）跳舞，我们现在就去找他。"叶剑英带着钱学森他们，驱车来到三座门，果然周总理和一些中央领导同志都在这里。一曲结束，叶剑英趋步走向周总理。总理认真听着叶帅的述说，频频点头，显得十分高兴。"好啊！"周总理说，"我很赞同你们的想法。"

于是总理迈着潇洒的步伐，向钱学森走来。他热情地握着钱学森的手说："学森同志，刚才叶帅向我谈了你的想法，我完全赞成。现在交给你一个任务，请你尽快把你的想法，写成一个书面意见，包括如何组建机构、调配人力、需要些什么条件等等，以便提交中央讨论。"钱学森听到周总理称他为"同志"，感到非常亲切，他从总理那炯炯有神的目光中，体会到党和人民对他的信任和重托，显得有点激动。他尽力抑制住心潮的起伏，只说了两个字："好的。"

钱学森的回答虽然只有简单的两个字，但他第一次听到敬爱的周总理称他为"同志"的情景却令他终身难忘！"同志"，这蕴含了多大的信任

和重托！一声"同志"，把这位刚刚归国的学者与祖国、人民的命运紧紧地联系在一起了！"同志"，这是一个多么高尚，多么值得信赖的称呼啊！在以后的几十年中，甚至直到今天，当社会上又开始流行"先生"、"小姐"的称呼时，钱学森依然称许多人为"同志"。他认为，这个称呼是他对别人的最大信任和尊重。

19 关于建立我国国防航空工业的意见书

几天以后，也就是1956年2月17日，一份由钱学森起草的《关于建立我国国防航空工业的意见书》（以下简称《意见书》）便送到了周总理的案头。当时为保密起见，用"国防航空工业"这个词来代表火箭导弹和后来的航天技术。

钱学森的《意见书》提出了我国火箭、导弹事业的组织方案、发展计划和某些具体措施。《意见书》还开列了可以调来参与这一事业的21位高级专家的名单，其中包括任新民、罗沛霖、梁守槃、庄逢甘、林津、胡海昌等。《意见书》提出，健全的国防航空工业，"除了制造工厂之外，还应该有一个强大的为设计服务的研究及试验单位，也应该有一个作长远及基本研究的单位。自然，这几个部门应该有一个统一领导的机构，作全面规划及安排的工作。"

《意见书》建议：

（1）"领导机构应包括科学、工程、军事、政治方面的人员。这个机构设在国防部内。"

（2）作长远及基本研究的单位，"重点放在完全了解一个问题的机理"，"探索新方向"。这种单位"组织上可以在中国科学院系统之内，但同时也归上述领导机构领导"，如"现在科学院内的力学研究所"，其他研究所中的"高温材料研究、电子学研究、计算机研究等；将来很可能再设气动力研究所、自动控制研究所等"。"估计这个方面工作的研究人员，

在整个系统完成时有 600 人，其中有副博士水平以上的研究人员 120 人至 150 人。”

(3) 作设计研究的单位，其任务是“生产新型产品，包括试制及试飞阶段在内”。这是一个“很大的复杂的机构，在整个系统完成时应有技术人员 6000 人，其中有副博士水平以上的人员 500 人至 600 人”。它应该包括“空气动力学研究所、结构研究所、火箭推进机研究所、冲压推进机研究所、透平式推进机研究所、控制系统研究所、材料研究所、燃料研究所、计算局”等，共 12 个研究单位。

(4) 生产工厂“是航空生产的一系列工厂”，“包括金属及非金属原料工厂、各种零件制造厂、电器制造厂、燃料工厂，最后才是飞机及飞弹制造厂”。

《意见书》在分析了当时国内航空工业十分落后的现状以后指出：问题是如何“以最迅速的方法，建立起我国国防航空工业的三部分：研究、设计和生产”。

《意见书》建议：(1) 立即在国防部成立航空局，实施全面的规划和领导。(2) 从全国调配力量，组建队伍。于是《意见书》开列了从 1956 至 1967 年，逐年调来各有关专业毕业生的人数。(3) 争取苏联及其他兄弟国家的援助。

20 导弹研究院院长

钱学森的《意见书》，受到了党中央的高度重视。1956 年 3 月 14 日，周总理亲自主持中央军委会议，研究决定由周恩来、聂荣臻和钱学森等筹备组建导弹航空科学研究的领导机构——航空工业委员会。会议决定按照钱学森的建议，组建导弹航空事业的科研机构、设计机构和生产机构。国务院任命聂荣臻为航空工业委员会主任，钱学森为委员。

遵照中央军委的决议，1956 年 5 月 10 日，聂荣臻提出《关于建立我

国导弹研究工作的初步意见》（以下简称《初步意见》），建议在航空工业委员会下设导弹管理局，由钱学森任第一副局长兼总工程师；建议建立导弹研究院，由钱学森任院长。中央书记处很快批准了聂荣臻的《初步意见》。中共中央书记处总书记邓小平表示："大家放手去干，成功了，功劳是你们的；失败了，责任由书记处承担。"

于是钱学森立即受命负责组建我国第一个火箭、导弹研究机构——国防部第五研究院。

1956年10月8日，正好是钱学森回归祖国一周年的日子，由聂荣臻主持，国防部第五研究院在北京车道沟兵器招待所宣布成立。在聂荣臻代表国务院、中央军委宣布国防部第五研究院（以下简称五院）成立以后，接着就由钱学森给刚刚分配来的156名大学生讲导弹的基本知识——"导弹概论"。在1942年美国加州理工学院火箭和喷气技术训练班授课14年之后，钱学森为能在自己的国家培养新中国第一批火箭、导弹技术人才而授课，感到无比激动。而这批大学生也为自己能亲耳聆听这位世界知名科学家的讲课而感到十分庆幸，他们之中的许多人，后来成为我国火箭、导弹与航天技术队伍的骨干。

多年以后，一些人对钱学森当年的授课仍记忆犹新，他们说，钱学森的课讲得好极了，既通俗易懂，又生动形象。对于这么复杂的尖端技术问题，外行人听了不觉得深奥难懂，专家教授们听了也不感到肤浅平淡。

1957年2月18日，周恩来总理签署国务院命令，任命钱学森为国防部第五研究院院长；1957年11月16日又任命钱学森兼任国防部第五研究院一分院院长。从此，在周恩来总理、聂荣臻元帅的直接领导下，钱学森开始了作为新中国火箭、导弹和航天事业技术领导人的长期经历。

五院成立起来以后，钱学森的工作真可谓千头万绪。他那时才45岁，精力充沛。

首先得让人们对导弹有一些初步了解。所以在他的倡导下，导弹技术训练班继续开办下去，他拟定了空气动力学、发动机、弹体结构、自动控制、电子线路、计算机等有关专业的学习计划。除了他亲自授课以外，任新民、梁守槃、庄逢甘、朱正等也给新来的大学生们讲课。

据朱正后来回忆说，他原来是学电讯专业的，并不懂导弹的制导问题，但钱院长却让他给学生们讲这个问题。怎么办？钱学森拿给他一本英文书《Guidance》，说："你拿去学习，学懂了再给学生讲。"当时他对英

文 Guidance 怎么译都不知道，是钱老告诉他，译作“制导”的。

新中国的导弹事业就是在这种一边学习，一边讲课，一边结合具体工作开展讨论，边学边干的情况下起步的。于是导弹总体、空气动力学、发动机、弹体结构、推进剂、控制系统、控制元件、无线电、计算机、技术物理等几个研究室逐步建立起来。

钱学森要思考和解决的问题很多，从工作计划制定、场地选择、人员配备，到仪器设备的购置，与科学院的协作分工，请各工业部门的支援，有关大专院校的配合，等等，钱学森都亲自出面，找有关领导和专家谈话、协商。他深入第一线，一个问题一个问题地解决，忙而不乱，疏而不漏，工作有序地进行着。

1957 年 9 月，钱学森随聂荣臻赴苏联访问，就新技术援助问题同苏联进行谈判。作为聂老总的科学技术顾问，钱学森同苏方的专家进行了认真仔细的讨论。在总体方面，全面了解了苏联火箭导弹的概况、计划规划、组织体制和人员结构；从技术方面，又深入探讨了冲压式发动机、液体火箭高能推进剂、固体火箭的新型固体推进剂、各种大型试验设施和靶机、靶场建设等等；也同苏联专家探讨了中国火箭导弹的发展和苏方可能提供的援助，派遣哪些方面的苏联专家和可能接收的中国留学生等等。

他按照中央规定的方针、聂老总提出的统一口径，和苏方谈判，并要求自己：“该问清楚的问题一定要问清楚。”他还参观了苏联科学院的有关研究所和工业部门的导弹研制机构和设施。

苏联方面当然知道他是一位著名科学家，在空气动力学和火箭导弹方面有很深的造诣，于是邀请他在苏联科学院作学术报告。他以“工程科学”和“工程控制论”为题作了讲演，受到热烈欢迎和高度评价。

1957 年 10 月 15 日，中苏双方签订了新技术协定，规定在 1957~1961 年底，苏联将供应我国几种导弹样品和有关技术资料，派遣技术专家，帮助我国进行仿制，并提供导弹研制、发射基地的工程设计，增加接收我国火箭专业留学生的名额等。

曾有一种传言，说钱学森访苏时，曾受到苏联方面的各种限制，说他不是“军人”，不准参观苏联的导弹设施。为突破苏方限制，聂荣臻紧急请示中央，经党中央、毛主席“批准”，聂荣臻就地“授予”钱学森中将军衔。钱学森晚年曾说：“这是误传。当时中苏关系比较好，我们的谈判也较顺利。有的设施我没看，不是苏方不让看。苏联专家说，那些东西都

是仿造美国的，你很熟悉，还用得着看吗?"

应该说，在当时，苏联的援助对提高我国导弹技术发展的起点，缩短仿制周期，培养科研人员等方面都起到了积极作用。所以，访苏归来，五院的重点就转向仿制苏联提供的教学和科研弹 P-1 和 P-2（即后来的"东风-1 号"）。钱学森花了很大精力，投入此项工程。

他首先组织科技人员翻译和消化苏联的图纸资料，派遣技术人员向苏联专家跟班学习，并在此基础上组织"反设计"。

他遵照聂老总提出的一定要通过仿制，"爬楼梯"，大练兵，向独立设计发展的方针，于 1959 年 10 月 17 日在五院党委扩大会议上提出："我们现在搞的苏联这种设计方案是 1959 年定案的，它不是一成不变，万年都要的方案，以后一定有改进的必要。我们应该解放一点思想，建一点自己的设备，以适应将来可能的改进。"所以应该是"灵活地学习，而不是死板地学习"。他还以"静力实验"为例指出："1959 年的中心任务是结合 1059（即 P-2）的仿制工作，掌握静力实验的方法及程序；建设静力实验设备，学会如何进行实验；掌握强度计算的方法等。"并认为，"这是一个从仿制转入自行设计任务的正确途径。"

当工作进行一段时间以后，在 1959 年底，他提出要对前一阶段的情况进行总结，"不限文化水平，只要做了工作，都要写出总结报告"。"有些报告将是比较完整的，如 1059 全部材料的分类整理，火箭推进剂性能汇编等。其中，大多数将是进一步编写火箭设计手册的资料。"

通过仿制，要把全院的业务建设带动起来。为此，他多次找苏联专家谈话，进一步明确发动机过程实验室、强度实验室、材料实验室、弹上测量和计算中心等的任务，落实各研究室的课题，重新调配各研究室的力量。

与此同时，全国协作网也逐步形成和建立起来。最大的协作单位是中国科学院。他明确提出分工原则："科学院主要做前期探索，而五院则重在工程实践。"

钱学森身兼五院院长和科学院力学研究所所长，他专门提出力学所在小型风洞设计、弹道火箭气动力工程计算方法、弹头再入气动力问题、内压薄壳的设计方法、发动机结构强度分析方法等方面的研究课题，并提出力学所人员到五院兼职的处理原则和办法。

他向科学院电子所、十院十四所等单位安排了超远程雷达、弹上小型

电子设备的研究项目；找北京航空学院和南京航空学院协调安排小型风洞的建设工程。仅就我国高能燃料和高能推进剂的工作，钱学森就开列了“五院液体发动机研究所、五院固体发动机设计部、中科院大连高能燃料研究所、北京化学研究所、上海有机化学所、中科院兰州分院、力学所、化工部五所和北京工业学院”等参加单位，并指出，主导单位是中科院大连高能燃料研究所。

为解决某些特殊金属材料问题，他找冶金部的领导同志协商；为解决一些大型设备的加工制造，他又找机械部的领导落实；而一些非标准件的特殊加工设施，则安排在五院建设。

为解决好全国大协作问题，他又指出，五院的人员要充分了解全国产业部门、工厂、研究单位和大专院校的情况；对外单位的协作要多听少说，防止泄密；各单位的工作都要有计划，分阶段进行，五院要从总体上加以协调和控制；最终成果要鉴定，要保质保量完成；等等。

钱学森也注意到，通过仿制，要把五院的科研管理和各种规章制度逐步建立起来。

他首先注意到要加强设计工作的管理，明确各级设计师和总设计师的职责，院领导不能包办代替设计师的责任。下厂图纸及配套资料一定要有人审查把关，最后由设计师签字，以示负责；工厂一定要按设计图纸加工生产，不能随便更改。设计人员要下到工厂，解决设计加工中的问题。

钱学森还及时提出设计人员要编写设计手册。“手册的标准要高，文字要清楚，使用的名词、符号要统一。”他还专门细心交待，设计手册“使用的纸张质量要好，不能一碰就破；手册每一页的格式都要规范；手册内的符号以拉丁标准拼音为准，‘公斤’用‘kg’，‘米’为‘m’；小图直接画在文字页上，大图另用标准纸；文字用现代口语写，不能文言、口语夹杂”；等等。

在仿制 1059 的同时，地空、岸舰等常规导弹型号的仿制工作也开展起来。钱学森是五院院长，各个型号的工作他都要兼顾。划拨到五院的老航空工厂在进行技术改造，工作区、生活区等各项基本建设在加紧进行。到 1960 年，几千名领导干部和技术干部，上万名大学生走进了五院的大门，大量的行政事务使钱学森不得不分身，甚至连人员的住房分配、食堂和幼儿园的建设都要他这位“院长”亲自过问，但这些事务性工作并非钱学森之所长。与此同时，又有大量技术问题等待他去解决和处理。

在这种情况下，他不得不向领导提出，免去自己的院长职务。周恩来、聂荣臻等也很快注意到这种情况，他们接到钱学森的请辞报告后，果断决定，配备强有力的行政领导，解决大量行政、后勤事务，把钱学森从这些繁杂事务中解脱出来，让他集中精力思考和解决重大技术问题。

于是 1960 年 3 月，国防部任命空军司令员刘亚楼兼任国防部五院院长，空军副司令员王秉璋任五院副院长，主持常务工作。后来，王秉璋又改任五院院长。从此钱学森只任副职，由国防部五院副院长，到七机部副部长，再到国防科委副主任等，专司我国国防科技发展的重大技术问题。钱学森对这种安排十分满意。

钱学森晚年曾说，他出任国防部五院院长时，不知道在中国当“一把手”会有这么多行政后勤事务。他在美国当过喷气推进中心主任，也当过加州理工学院航空系的系主任，但他从不管行政事务，只管科研和教学工作。他要是知道在中国“一把手”有这么多行政事务，一开始就不会答应当所长和院长了。

由于钱学森 1959 年已经入党，1960 年转正，所以他参加五院党委的工作。

许多人不明白，钱学森在国防部五院的履历为什么是先任院长，后任副院长？他们认为这必是秘书粗心大意，在填表时搞错了。其实这是一个误会，而且是一个长时间的误会，它来自于人们的一般思维。但是钱学森与众不同，从不考虑他的“地位”问题，也不考虑因此他会降低什么“级别”、“待遇”。他惟一考虑的是党的工作、国家的事业。

21 P-2导弹仿制成功

1960年，当我国仿制 P-2 导弹的工作进行到最后阶段时，赫鲁晓夫下令撤走全部苏联专家，这给五院的导弹仿制工作造成了一定困难。

在这种情况下，党中央、毛主席果断决定，要自力更生，发展我国尖

端技术。遵照这一精神，聂荣臻指示五院：一定要争口气，依靠我们自己的专家，自力更生，立足国内，仿制 P-2 导弹决不能动摇，无论如何要搞出来。



钱学森陪同聂荣臻视察　　(1960 年)

为了依靠我们自己的专家，尽快造出中国自己的导弹，聂荣臻非常重视发挥科技人员的作用。他多次强调，凡科学技术上的事，只能由科技人员定，其他人不能干预。1960 年 10 月，五院党委还专门就此作出决定。

据此，钱学森这一时期在五院的技术工作中，发挥着突出的作用，重大技术问题都由他决定。他每个星期天下午，把几位总设计师请到家里，讨论重大技术问题。他按照民主集中制的原则，先请每位老总充分发表意见。对于意见一致的问题，他当即拍板决策。不一致的，如果不是急办的，留待下星期的会议继续讨论；如果是急办的，则由他根据讨论情况，

提出解决办法，大家分头去办。在办的过程中，如果发现有行不通的地方，下星期提出来重新讨论。如果办成了，功劳是大家的；失败了，责任由他承担。钱学森说，这种做法十分有效，几位老总都心情舒畅，能畅所欲言。几十年后，大家对那一段工作仍十分怀念。而钱学森也认为，国防部五院工作的一条重要经验，就是在技术工作中，真正贯彻执行了民主集中制的原则。

钱学森和五院全体同志及全国人民一道，自力更生，艰苦奋斗，克服了无数技术的和非技术的难关，解决了苏联人遗留下来的许多难题，终于在 1960 年仿制成功 P-2 导弹。

1960 年 11 月 5 日，钱学森作为 P-2 导弹首次飞行试验委员会委员，在我国酒泉基地，协助聂荣臻，组织实施了这次导弹的发射工作。导弹发射试验成功，现场科技人员和解放军官兵都禁不住热情欢呼，聂荣臻、张爱萍等和钱学森热烈握手，互致庆贺。聂荣臻在致辞中高兴地说：“在祖国的地平线上，飞起了我国自己制造的第一枚导弹，这是我国军事装备史上一个重要的转折点。”

22 人们称他为“导弹之父”

钱学森从 1955 年回国，怀着一颗拳拳报国之心，参与推动和领导我国导弹事业的创建和发展工作，5 年的心血，今日终于有了结果，他感到十分欣慰。同时，他也感到，这样的速度是他在美国都不敢设想的。从中他更认识到党的组织领导的力量，人民群众的力量，而这也更加坚定了他的信念和信心。所以他常说：“一切成就归于党，归于集体。”这是他的肺腑之言。

现在的年轻人不了解当时的情况，当他们听到钱学森说“一切成就归于党，归于集体”时，还以为他在喊“政治口号”，是“穿靴戴帽”式的空话。钱老说，这不能怪他们，因为他们没那一段经历，不了解我们国家

的导弹是怎么搞出来的。比如，我们国家的工业基础十分薄弱，当时连汽车还没造出来，导弹型号就上马了，火箭发动机是在一个工棚里开始研制的。没有精密机床，怎么办？就调来一批“8级”金工师傅，那些形状复杂的发动机元部件，翻砂出来以后，就是靠金工师傅们的高超手艺，一点一点“抠”出来的。当时执行试验任务，我们的通信手段也非常落后，基本上是有线通信。而试验任务的通信、指挥和调度等等，又需要占用大量的通信线路。怎么办？除了军用通信以外，还需要占用民用通信，邮电部只好关闭几乎一半的全国通信线路，供发射试验用。为了保证通信线路的安全可靠，把全国的民兵都动员起来了，每根电线杆下站两个民兵，一天24小时不间断地值班，直到试验结束。这样大规模的组织调动，没有党的坚强领导，没有成千上万群众的参与，谁能办得到？

现在，社会上有人常常称钱学森是我国“导弹之父”或“航天之父”。钱老曾多次说明，他不同意这种称呼。他常常说，导弹、航天事业，是一项大规模系统工程，有党的坚强领导，有成千上万人参加。所以，这样的大科学工程，不是哪一个或两个人能完成的。他只是恰逢其时，做了他该做的工作，仅此而已。

20世纪60年代初，导弹的研制试验进入紧张阶段，而这时也正是我国面临三年自然灾害时期，全国人民都生活困难，吃不饱肚子，连毛主席、周总理等党和国家领导人都粮食定量，不吃鱼肉了。但是五院的导弹研制工作正在加紧进行，由于劳累和营养不足，许多人患上了浮肿病。

聂荣臻看在眼里，心急如焚，他不得不亲自出面，给各大军区和各省市领导同志打电话，请他们调拨一些黄豆、带鱼和猪肉等，支援五院的科技人员，解燃眉之急。

那时实行“大力协同”方针，中央一声令下，全国大力支援。于是一批紧缺的生活物资调来五院，分发给科技人员。由于物资有限，具体操办此事的行政、后勤人员都自觉地不拿不吃。

一次，五院调进一批猪肉。聂办打来电话，专门交代给钱家半边猪。那时并没有电冰箱之类的保存设备，这半边猪肉只得先秤好重量，放在食堂。每次来了猪肉，钱家的炊事员就到食堂割一小块，切成肉末，放在菜里，以便细水长流，渡过难关，一直吃到够半边猪肉的重量为止。

炊事员看到钱院长工作劳累，营养不良，人瘦了许多，心里难受。于是有一天他割了一大块肉，做了一锅红烧肉，想给首长补充点营养。当他

把红烧肉端到饭桌上时，平时和颜悦色的钱学森，一下子把脸沉了下来。他严肃地对工作人员说："你们知不知道，现在全国人民都生活困难，连毛主席、周总理都不吃肉了，你居然给我做红烧肉！党性到哪里去了？"炊事员见首长生了气，而且批评得这么严肃，只好把红烧肉又端下去。

钱学森就这样一方面严格要求自己，坚决和全国人民一道共渡难关；另一方面他还将自己的大笔收入，即他的两部巨著：《物理力学讲义》和《星际航行概论》出版稿酬约 3000 多元，作为党费，转手交给了党小组长。因为他知道，这个时候党困难，国家困难，人民困难，他要和全国人民同甘共苦，共渡难关。而这正是他当年放弃在美国的优厚条件，坚决要求回国的初衷。

第九章

“东风-2号”的挫折和成功

23 聂荣臻元帅说：科学实验允许失败

在近程的P-2导弹（后来命名为“东风-1号”，也简称“东-1”）即将仿制成功的时候，聂荣臻及时指示五院：要突破从仿制到独立设计这一关，迅速发展提高，建立我们自己的高技术水平的导弹技术体系。

作为五院的技术负责人，钱学森立即调整五院的技术力量，加强设计队伍，协助聂老总实施这一转变。

然而，从仿制走向自行设计，这是我国导弹技术初期发展中的一个质的飞跃。实现这一飞跃，对我国年轻的导弹研制队伍来说，并不是轻而易举的。尽管在一开始设定的目标只是“迈小步”，先搞中近程的，使之与仿制的“东风-1号”具有较大的技术继承性，但要独立研制出这样的型号，会遇到多大困难，当时大家心里并没有底。

面对这一新的任务，钱学森说，他只有找大家商量。

经过民主讨论，总体设计思想和总体方案基本确定下来，即以“东风-1号”为基础，设计上不作大的改动，只将发动机和弹体结构等各方面的尺寸加大一些，使其射程达到中近程（即1000公里左右）的要求。

总体方案一定，各系统便按此开始设计工作。当时，鉴于苏联的背信弃义，五院提出，要尽快搞出我们自己的“争气弹”。全院上下，“变气愤为发奋”，都在为争取我们自己的“争气弹”早日上天而发奋工作。那时尽管生活困难，但若你在晚上走近五院的大院，你会看到办公楼所有的窗户都灯火通明，人人都憋着一口气在勤奋工作。到1962年3月初，仅用了大约1年零4个月的时间，我国自行设计和研制的“东风-2号”导弹就出厂待发了。

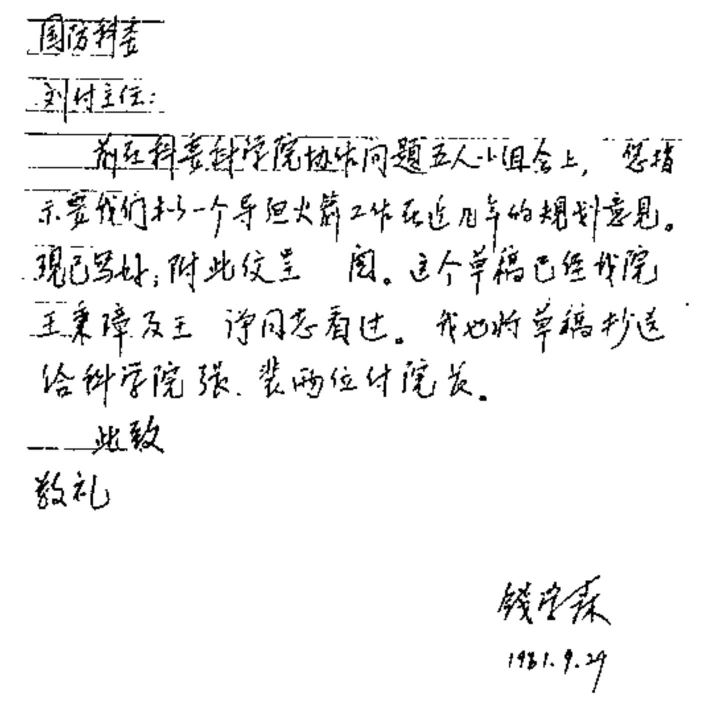
1962年3月21日，“东风-2号”（简称“东-2”）导弹竖立在酒泉发射场的塔架上，随着倒计时的口令：“3-2-1-点火！”导弹腾空而起。

然而，满怀期待的人们很快用肉眼就看到，弹身在晃动，接着导弹偏离了轨道，随着“轰”的一声巨响，导弹坠落在离发射塔不远的沙漠上。

将戈壁滩炸出了一个大大的弹坑。

全体参试人员大为震惊，既感到万分痛惜，又感到巨大的压力。

在这初次遇到的挫折面前，聂荣臻十分沉着、冷静。他立即安慰大家：科学试验允许失败。并指示各级领导，不要追查责任，重要的是找出失败的原因，以利再战。对于查出故障原因的人，同样要给予奖励。并指定钱学森立即飞赴基地，负责故障的分析。聂荣臻的指示对全体参试人员是极大的安慰，并消除了大家的思想顾虑。



国防科委
刘付主任：
前在科委科学院协作问题五人小组会上，您指示要我们拟一个导弹火箭工作在近几年的规划意见。现已写好，附此仗呈 阅。这个草稿已经我院王秉璋及王 诤同志看过。我也将草稿抄送给科学院张、裴两位付院长。
此致
敬礼
钱学森
1961.9.29

1961年9月29日钱学森给国防科委副主任刘西尧的信
（注：“科学院张、裴两位院长指张劲夫、裴丽生）

第二天，即3月22日，钱学森率五院有关技术人员赶赴基地。他首先察看了坠落现场，并组织人员收集残骸，作故障分析之用。

经过3个多月的仔细分析、研究，从元部件到各分系统，从各分系统到总体，不知开过多少次大大小小的故障分析会议。又对导弹残骸进行测定，对测量数据进行计算处理和分析等等，故障的原因终于逐渐明晰。钱学森领导的故障分析小组，对故障原因作了全面的归纳总结：

从总体方案设计看，一是导弹的稳定系统还没有摆脱仿制的束缚，没有考虑加长后的弹体所带来的弹性振动对控制系统的影响，在飞行中弹体的弹性振动，与姿态控制系统发生耦合，导致导弹飞行失控；二是发动机在改进设计时提高了推力，但结构强度不够，导致局部破坏而起火。

但是，这次失败所暴露出来的问题却是多方面的。在工程技术方面，

主要是还没有掌握自行设计的规律，对导弹系统工程的复杂性、各分系统的技术协调性认识不足，有些必要的地面试验没有做或做得不够充分，对产品质量检验缺乏科学的标准。

在科研管理方面，没有建立技术责任制，没有制定严格的研制程序和工作制度。

在思想作风方面，急于求成，缺乏科学态度，对基础工作特别是地面试验重视不够，对可能遇到的问题和困难考虑得少，对产品存在的缺陷和隐患没有采取有力措施坚决加以消除。

这个故障分析报告全面而又系统，体现了钱学森的风格，是他后来形成系统工程思想的雏形。

根据这一分析报告，国防部五院重新部署了下一步的工作。主要是：第一，抢建急需的研究试验设施，加强地面试验，把故障消灭在地面上；第二，建立全国协作网，加强预先研究，为独立研制创造必需的物质技术基础；第三，调整科技政策和知识分子政策，调动广大科技人员的积极性，建立健全各项科研管理制度和责任制；第四，重新审查修改设计和组织科研攻关，彻底解决上次试验暴露出来的技术问题。其中，钱学森提出的"把故障消灭在地面"这句话，成为以后我国导弹航天事业的一条重要原则和准绳。

在此期间，钱学森从技术上组织落实五院的几项重大的基础设施建设，如大型火箭发动机试车台、全弹振动试验塔、全弹试车台、超音速风洞等。这些大型设备，每一样都是一个巨大而又复杂的设施。据当时参加这项工程的王永志（他现在是我国"神舟号"宇宙飞船，即921工程的总设计师）说："对于这么庞大而复杂的设备，我们这些年轻人不要说没见过，就是听都没听说过。怎么办呢？只好去找钱院长请教。"

钱学森来到一分院，他首先发现，科技人员由于心里没底，有畏难情绪。为此他说，搞这种大型复杂的新设备，开始大家可能感到很难。但是所谓复杂，其实是综合起来的看法。如果我们把设计分解开了，从单项技术来说，那还是老问题。我们国家现在基本上是具有这些单项技术的。当然有时也会出现比较新的单项技术，或大大放大了的单项技术。所以我们是具备条件的，当然条件不是聚在一处，而是散在全国。这就主要是个组织问题，而不是技术问题！为此我们五院要搞一个总体小班子。这个小班子要能将各个单项技术综合集成起来，但这个班子又是缺乏新设备的知识

及经验的班子，你们先要当小学生，学习，再学习。

这个小班子怎样工作？光靠你们自己单独是干不成的，一定需要各种技术及经验。而技术和经验又散在全国各地、各单位、各部门。所以，只有通过上级主管单位，从全国各地、各单位、各部门，指名调集、借调一批人，组织完成任务的临时集体。他们带着一项技术来参加设计，而他的原单位就是支撑他的强大后方。这个临时班子搞设计，出图纸，落实加工，负责安装调试，最后交给我们五院的小班子去运转。而你们负责运转的小班子也在这一整个过程中，学好了必须学到的新业务。

最后钱学森又结合大家提出的具体问题讲了一课。王永志说："我们就是根据钱院长给我们指出的这种工作方法，根据他在黑板上画的几条曲线，解决了全弹试车台的设计，特别是导流槽的设计问题。"

钱学森还用了相当大的精力，抓五院科研工作的管理，整顿工作秩序，将全院工作纳入科学管理的轨道。他在五院的不同场合，多次给大家讲解这种大规模科学技术工作的特点，现代化的组织管理在这种工作中的重要意义；他以器材管理为例，说明管理工作的具体内容和手段；他特别强调数学和计算机在管理工作中的重要作用。他在五院还亲自抓了计划平衡技术和计划协调技术的应用，并在一、二、三分院搞试点。

他也花费很大精力，协助五院党委，建立技术指挥线和行政指挥线，用"系统"的概念，将五院的工作组织起来。他特别强调总体设计部的工作。这项工作如果做好了，就可以实现他在《工程控制论》一书中所阐明的原理，即用不那么可靠的元件，组成一个可靠的系统。这实际上就是中国一句古话："三个臭皮匠，顶一个诸葛亮"的道理。所以，他常常花费较多的精力，抓总体部的工作。

然而，总体部是科研组织工作中的一个新事物，老专家不懂，新来的年轻人就更不知如何工作了。王永志回忆说，他们刚到一分院总体部工作时，连总体设计的概念都没有，各方面的技术问题也不会协调。有一次，钱院长来了，他给大家举了一个通俗易懂的例子，说今天天气很热，这个房间温度很高，正好屋里有台电冰箱。于是有人提议，将冰箱门打开，不是可以放出些冷气吗？但是，这个意见是错误的，因为你在通过冰箱不断向室内输送能量。也许你站在冰箱门口会感到有些凉意，但整个室内温度必然升高。这就是局部和整体的关系，局部优化，不等于整体优化。总体设计部的任务就是要做到整体优化。钱院长这个通俗易懂的例子，使我们

明确了总体设计部的任务和要求。

在此基础上，钱学森参与领导制定五院工作条例。1962 年，国防部五院在认真总结经验的基础上，制定和颁发了《国防部第五研究院暂行条例（草案)》，对型号研制与设计工作、研究工作、试制工作、试验工作、技术责任制与科学技术委员会的关系、组织计划与条件保证、政治工作、党的组织与工作等都作了明确的规定。使国防部五院的各项工作，进一步走上了正规化、科学化的轨道。

24 科学万岁！

鉴于“东风-2 号”第一次试验失败的教训，聂荣臻提出要加强预先研究，按照导弹系统工程的特点，提出了“三步棋”的原则，即在同一时间内，至少要看三步棋，有三个层次的型号：一种是在探索研究的，一种是正在设计和试制的，一种是定型后小批生产的。为此五院成立了科学技术委员会，钱学森任主任委员。科技委下设若干专业组，专业组按型号研制工作的需要，制订本专业的科研规划，安排预研课题。由此，预研工作得到加强，为进入型号研制储备了足够的技术，也为以后的型号研制打下了坚实的基础。

从 1962 年到 1964 年，国防部五院认真贯彻调整的方针，缩短了研制战线，进一步集中力量，突破“东风-2 号”的技术难关。针对试验中暴露出来的问题，重新审查、修改了总体方案，各分系统开展了大量的研究工作。经过修改设计后研制出的导弹产品，先后通过了 17 项大型地面试验，需要解决的技术问题都基本解决，钱学森和广大技术人员都对即将进行的发射试验充满了信心。

1964 年 6 月 29 日，钱学森协助张爱萍，在 20 基地组织我国第一个自行设计的中近程导弹再次进行发射试验。6 月下旬的戈壁滩，烈日炎炎，骄阳似火。干燥的热浪，拂去了人们身上的汗水，在衣背上留下一道道白

色的汗渍。钱学森顶着烈日，不断查看测试现场，听取各单元测试的汇报，现场协调和处置各种技术问题。突然他接到“东-2”总设计师林津的汇报，说高温导致导弹达不到原来的射程。但这时，落区的测量网点都已安排就绪，如果导弹达不到原定的射程，落区的测量设备就什么数据也测不到了。怎么办？这一突如其来的情况，事先谁也没有预料到。钱学森和全体参试人员一样，都在苦苦思索着解决的办法。

这时许多人提出用增加推进剂的办法，延长火箭发动机工作的时间来增大射程。这是按通常的思维方法所采取的措施。问题是推进剂储箱的容积已定，没有多少空间再容纳更多的推进剂了，所以这个办法实际上是行不通的。

就在这时，年轻的设计人员王永志提出了一个截然相反的办法。他说可否减少推进剂，这样就减轻了起飞重量，也减少了发动机熄火点的推进剂“死重”，这不是也可以提高射程吗？这就归结为在高温条件下推进剂加注的混合比（即液氧和酒精的比例）的计算问题了。但在计算混合比时，若想得到新的更加准确的结果，必须打破液化气体——液氧的温度（摄氏零下183度）是恒定不变的观念。王永志根据这一思路反复计算核对，证明可以泄出600公斤酒精，使导弹的起飞重量大大减轻，达到原定的射程。

由于王永志的意见与一般的思路正好相反，许多人都不理会他的办法。在这种情况下，他鼓足勇气，直接去向钱院长汇报。

王永志说，使他大为惊奇的是，这位大科学家一点也没小看他这个试验队中军衔最低的年轻中尉。钱学森听得认真仔细，对他的计算方法不时提出问题，让他讲清楚。当他听完王永志的汇报以后，立即叫来“东-2”的总设计师林津说：“王永志的意见正确，按他的办法实施。”

结果，这枚经过挫折，历经两年多努力，又在试验现场克服重重技术难关的导弹，终于发射试验成功了。张爱萍激动得禁不住和钱学森热情握手和拥抱，并情不自禁地高呼“科学万岁”、“科学家万岁”的口号。现场的技术人员和执行发射任务的解放军指战员也都激动得热泪盈眶。

这次成功的试验，揭开了我国火箭、导弹发展史上新的一页。接着，7月至10月间，又先后多次进行了这个型号的发射试验，均获得成功。

通过中近程导弹的研制，我国的研制队伍受到了很大的锻炼，初步摸索到自行设计的规律，掌握了导弹从提出任务、总体设计、工程研制，直

到飞行试验的主要程序、工作内容和方法，不仅为后来研制新型火箭、导弹奠定了基础，而且大大增强了独立发展我国导弹技术的信心和勇气。

1962年 11 月，刘少奇在一次中央会议上宣布，成立以周恩来为首的、由各有关部门负责人参加的中央专门委员会（以下简称中央专委），负责领导我国国防尖端技术事业。钱学森虽不是中央专委成员，但他多次列席中央专委会议，目睹了周总理平易近人的民主作风，又看到了周总理在意见繁杂，众说不一的情况下高超的集中艺术，深受教育。他以周总理为榜样，在工作中既注意充分发扬民主，又敢于在复杂情况下大胆决策。他认为，民主集中制是我国导弹、航天事业取得成功的一条重要经验。

25 制订《8年4弹规划》

“东风-2 号”的研制和发射成功，标志着我国已经基本上掌握了独立研制导弹的一套复杂技术，也标志着 1957 年制订的 12 年科学规划的提前完成。下一步就是要制订我国导弹事业的长远发展规划了，五院党委指定钱学森负责这一规划的制订工作。

在制订规划的前期，钱学森曾组织有关专家，就我国地地导弹的发展道路问题展开讨论，为制订具体的规划明确方向。当时世界上只有美苏两家先例，美国人走的是大推力发动机的路子，而苏联走的是捆绑的路子。我国地地弹的发展道路是什么？对此，也有争论，钱学森坚持从我国国情出发，独立思考，走自己的路。经过讨论，最后形成并提出了《我国地地导弹发展途径的意见》。

在此基础上，五院又发动了有设计、生产、使用部门的工人、技术人员和领导干部 3000 多人参加的规划方案讨论，在充分发扬技术民主的基础上，最后形成了 1964~1972 年研制出“东风-2 号甲”中近程导弹，“东风-3 号”中程导弹，“东风-4 号”中远程导弹和“东风-5 号”洲际导弹的长远发展规划，此称《8 年 4 弹规划》。

按照这一规划和常规型号的研制、生产任务，五院今后的工作将有很大的发展。1965 年，中央根据五院今后的任务需要，在充实了试制、生产力量以后，撤销了国防部五院的建制，成立第七机械工业部（以下简称七机部），由王秉璋任部长，钱学森等任副部长。



钱学森与邓小平（1965 年）

七机部成立以后，摊子更大，任务也更重了。钱学森这时除了抓地地弹以外，“红旗”型号的地空导弹，“海鹰”型号的岸舰导弹，以及更长远一些的固体发动机、固体导弹、反导系统和运载火箭及卫星等，也都陆续上马。其中“红旗–1 号”、“红旗–2 号”及“海鹰”型号这时已仿制、试验成功，主要是定型及批量生产问题，及生产中的质量和可靠性保障问题。他听取各方面的汇报，协调解决各种型号在研制、试验、定型、生产中的各种问题。对于装备部队以后的训练、使用和维修管理问题，他和七机部的人员也要从技术上给予支持。

由于钱学森和五院广大科技人员卓有成效的工作和积极的支持配合，20 世纪 60 年代，我空军部队使用新装备的国产“红旗–2 号”地空导弹，曾多次击落侵犯我领空的 U–2 高空侦察机。实战证明国产“红旗–2 号”地空导弹的作战使用性能良好。

第 十 章

为"两弹"试验呕心沥血

26 不怕一万，就怕万一

在本国的国土上进行原子弹和导弹“两弹”结合的飞行爆炸试验，是史无前例的新事物，需要解决一系列的问题，特别是安全问题。要确保核弹头在未解除保险时，即使发生各种异常状态，也不会发生核爆炸。这个问题对于我们国家来说尤为突出。因为美国进行此类试验可以在海外基地，而苏联的西伯利亚是大片荒无人烟的地区。可我们国家导弹的弹道不得不穿过有人居住区，若安全问题没有十二万分的把握，万一原子弹被引爆，那不等于我们在自己的头顶上丢了一颗原子弹吗？那还了得！然而，这种试验在没有前人经验可资借鉴的情况下又非进行不可。钱学森担任两弹结合飞行爆炸试验的技术总负责人，他所承受的压力之大可想而知。

为此，七机部和二机部合作，在国防科委的统一指挥下，要组织进行若干次以严格检验导弹及其核弹头的安全性和可靠性为目标的飞行“冷”试验（不装核燃料）；在确有把握的基础上，再进行“热”试验（装核燃料）。

当时曾考虑了各种可能的意外情况，并提出进行燃烧试验和撞击试验等；在发生意外情况下的自毁也有好几套方案：如弹头自毁方案；弹体自毁方案；弹头弹体都毁的方案；或弹头毁而弹身不毁；弹身毁而弹头不毁。这又分两种情况，即弹头不脱离弹身，则保险；如弹头脱离，过载达不到15克怎么办？这个问题要研究。弹如未发射出去，又叫回加温车，弹头温度可能降到极限，则因低温而报废，这也要设法解决。计划之周密详尽真可谓史无前例。钱学森和二、七机部科技人员为此花费了大量心血，一个一个地解决了这些试验中出现的始料未及的各种问题。

在十分艰巨地通过了这一系列地面试验以后，钱学森在1965年12月份和1966上半年，两次飞赴基地，又组织了两批多发“东-2甲”的安全可靠性飞行试验。在试验前聂荣臻一再叮嘱：一定要专心搞好试验，不要受“文化大革命”的干扰，脑子不能开小差，心不二用。与以往不同的

是，这两次钱学森出发，聂荣臻都亲自送行，紧紧握住他的手，并投以信任的目光。钱学森向聂老总点头示意。老帅的信任给了他极大的鼓舞和信心，他们的默契和由此产生的巨大动力，常常就在这一刹那的不言之中。

试验证明，“东-2甲”的方案是完全正确的。但试验中也暴露出在产品的质量，特别是安全可靠性方面还存在不少问题或隐患，必须在“热”试验以前逐个加以解决。钱学森在动员会上多次强调，这是一个新事物，无先例可循。并引用毛主席语录“我们正在做我们的前人从来没有做过的极其伟大光荣的事业。我们的目的一定要达到，我们的目的一定能够达到”来教育和鼓舞大家。他和大家一起，扎实而又细致地工作，排除了一个一个具体的故障或隐患，做到“不调不换，打好打准”。

一枚导弹上的元器件多至成千上万，只要一个零件出现故障，都可能影响到导弹的安全可靠性。他遵照周总理提出的“严肃认真，周到细致，稳妥可靠，万无一失”的要求，不放过试验中出现的任何一点差错。为此，他在1966年7月11日的《工作手册》中，以表格的方式，详细开列了“外协配套仪器存在的主要问题”。这些问题，从大的方面分类，计有质量问题，保管期不足或无保管期，环境试验不正规，储存期问题，订货难问题等等共十多项；细目则多达好几百项，包括晶体管、电位器、开关、插头插座、电容器、舵机、稳频器、螺钉螺帽，以及某些金属和非金属材料问题等等。

对于这些问题，无论其大小，钱学森都极其认真地对待，并一一指定具体负责人去落实解决，解决的情况也要一一向他汇报。他还指出，该做的试验，一定要在出厂前做好，不能等到产品抵达基地以后再做。

即使进行了这么认真细致的准备，为防万一，导弹弹道经过地区的人民群众还是要疏散到安全地区去。当时人民群众的政治觉悟都很高，党组织一声令下，大家都毫无怨言地疏散到指定的地点。但其中也有一个单位，干部群众不愿疏散。国防科委和七机部的领导多次去做工作，也未把大家说服。他们的理由也很简单，说：“我们相信你们解放军，不会有事的。”眼看试验日期就要到了，大家都心急如火，怎么办呢？钱学森在听取汇报时了解到这个情况。于是他亲自来到这个单位，做大家的工作。听说这么大的科学家要亲自登门，干部群众都非常高兴。钱学森亲切地对他们说：“你们不是相信解放军吗？那好，我们解放军办事有一个原则，那就是不怕一万，就怕万一，我们用这种认真负责的精神取得了人民群众的

信任。我今天告诉大家，现在不是万分之一，而是千分之一，千分之二，你们说该不该考虑，该不该疏散哪？”就这么几句话，做通了干部群众的工作。

27 毛主席亲自接见聂荣臻

1966年，“文化大革命”已经开始。二、七机部广大科技人员、工人和国防科委试验基地的解放军指战员，在周恩来、聂荣臻的直接领导下，排除了各种干扰，解决了一个又一个技术问题。1966年10月27日，钱学森、张震寰等协助聂荣臻，在导弹核试验基地，主持了我国装有核弹头的中近程地地导弹的发射试验。



钱学森协助聂荣臻在基地主持“两弹”结合飞行爆炸试验 (1966年)

又一个与以往极大的不同是，在试验前，毛主席亲自接见聂荣臻，听取他的汇报，这可是从来没有的事。在过去，毛主席是从不过问这些具体事情的，一切交由周总理去办，对于周恩来的精明和细心他是完全信赖的。但这一次非同寻常，即使“文化大革命”这样的政治运动正处于高潮，他老人家也不得不亲自过问这一重大试验任务。当他听完聂荣臻的汇报以后，非常高兴地说：“你是常胜将军了，这一次又准备得这么充分细致，我看没问题，祝你再次得胜回朝。”

由于试验前认真做到了“四不带”：即人员不带思想问题进场；仪器设备不带问题参战；部件不带问题出技术阵地；产品不带问题上天。以及高标准、严要求、打准、打好等，所以导弹发射成功，核弹头在预定的地点上空实现了核爆炸，试验获得圆满成功。

毛主席在听到试验成功的消息以后，兴奋地说：“谁说中国人搞不出导弹核武器？现在不是搞成了吗？赫鲁晓夫不给我们这些尖端技术，极好，逼得我们自己干出来，我看要给赫鲁晓夫一个一吨重的勋章！”

1967年4月，钱学森在七机部《关于“导弹核武器飞行试验工作总结”报告》上批示肯定：“这也是我们做得比较好的试验工作。”

这次试验使我国的国防现代化建设又向前迈进了一大步。第二天，即1966年10月28日，美国《纽约时报》用这样的文字报道了这一重大事件：“一位15年中在美国接受教育、培养、鼓励并成为科学名流的人，负责了这项试验，这是对冷战历史的嘲弄。在1950~1955的5年中，美国政府成为这位科学家的迫害者，将他视为异己的共产党分子予以拘捕，并试图改变他的思想，违背他的意愿滞留他，最后才放逐他出境，回到自己的祖国。”

第十一章

我国独立设计制造的中程弹道导弹

28 为“东风-3号”贡献知识和智慧

“东风-3 号”（简称“东-3”）是从 1964 年开始研制的中程弹道导弹。这个型号可以说完全是由我们自己独立设计制造的，它采用了一系列新的技术，如可储存液体推进剂、全惯性制导系统和 4 机并联发动机技术等。由于贯彻了聂荣臻提出的“三步棋”原则，钱学森提早安排的预研课题，到这时都已见成果，为这个型号上马奠定了基础。但这并不等于说，这个型号的研制就一帆风顺。相反，由于我们采用了当时的新技术，向前迈出了一大步，所以在研制过程中也遇到许多技术难关。

在一些关键技术的攻关过程中，钱学森贡献了他的知识和智慧。比如，在“东风-3 号”发动机试车过程中，不断出现故障，总也过不了关。前一次试验中的问题解决了，再往前走一步，又有新的问题发生。在这种情况下，钱学森来到试车台。他在细心观察历次故障情况，并听取汇报以后，沉思良久，并未马上说话。在场的人员心情都有些沉重，他们以期待的目光，看着来回踱步的钱学森。他经过深思，然后回过头对在场的技术人员说：我们不能总让故障牵着走，大家是不是回过头来想想，有什么根本问题在影响着发动机的燃烧稳定性？是不是应该考虑高频振荡问题？他的话点破了这一技术难题，启示了在场的科技人员。他们在考虑了高频振荡频率与燃气生成频率相耦合产生共振的影响以后，采取了隔板和液相分区等技术措施，改进了发动机的设计。又经多次试验，解决了不稳定燃烧的问题。从此，“东风-3 号”发动机试车顺利过关。这一重大技术问题的解决，也为后来新型发动机的研制提供了重要经验。

由于有预研成果的技术储备，“东风-3 号”的研制从总体上说还是比较顺利的。到 1966 年末，第一发“东-3”即运抵基地待发射了。

钱学森在 11 月初就到达基地，察看发射前的测试和合练情况。对测试中出现的各种大大小小的问题及改进措施，他都一一过问并作了详细记载。如在单元测试中发现速率陀螺参数有 5%的变化，原设想是 3%，变化偏大，不理想，措施是在变换放大器中调一调；一舵机补偿电流不稳定，

但在合格范围内；三舵机渗油，要换；发动机及箱体测试项目少，气密性好，但也发现氧化剂的加注活门有点漏气，每分钟有一个小气泡，可以用；电爆管有的不好，已换；遥测系统和弹上计算装置等等也有些问题。

钱学森对测试中出现的每一个细小的问题都极为认真，不允许有丝毫疏忽。当年参加试验工作的一位老同志说，当他向钱老汇报，说氧化剂的加注活门有点漏气时，钱老立即问："有多大点漏气？你们测过没有？"我说："没有。"于是钱老严肃地说："你马上回去测量，测完了再向我汇报。"我遵照钱老的指示，又回到阵地。经反复测量，每分钟一个小气泡，在允许范围之内。于是再回来向钱老报告，他才放心地点头。

钱学森在 12 月 18 日的总结中说，前一段我们的工作有些被动。他要求七机部各试验分队的领导，一定要配合技术阵地测试，及时了解情况，对出现的问题一一作出解释或解决。

同时他也发现，基地的干部、战士工作是认真的，试验分队也是认真的。问题在于发射阵地的领导对发射系统的复杂性认识不足，尤其是对可能出现故障的时候，如何统一指挥的问题认识不足。所以他强调，一定要加强合练，七机部的人一定要盯岗位，对试验基地一中队的指挥员，一个盯一个地干。

1966 年 12 月 25 日，聂荣臻亲赴基地。钱学森向他作了详细汇报，并陪同聂荣臻主持这次发射工作。26 日 11 时，首发"东-3"导弹点火发射，但飞行到 111.2 秒时，发动机二分机推力突然大幅度下降，致使弹头实际落点与理论值偏差很大。

1966 年 12 月 27 日，钱学森在技术阵地与七机部"东-3"试验队的同志座谈，对这次试验进行现场总结。他说，第一发"东-3"的发射试验，证明导弹各系统工作协调，飞行参数符合设计要求，作为研制方案，是成功的。但也暴露了问题，由于动力系统的问题，落点偏差过大。关于这个结论，他请示了军委聂副主席，聂老总表示同意并指出，这是研制试验，第一发这个地方出问题，第二发可能另一个地方出问题，要不断总结，不断改进。接着，钱学森调整了七机部试验队，并部署了第二发"东-3"的试验任务。

第二发"东风-3 号"在 1967 年 1 月 12 日点火发射，当飞行到 129.2 秒时，发动机二分机推力又下降，弹头落点的偏差也较大。为此，钱学森在 1967 年 2 月 7 日召开了"东-3"的故障分析会。

这时，由于"文化大革命"的干扰和破坏，正常的组织机构已无法行

使职能，由各级造反派当权，所以这个会叫“东-3 串联会议”。在这种困难形势下，钱学森仍顶住压力，排除干扰，和负责“东-3”的科技人员一道，一一排除了发动机故障的疑点，找到了燃烧室破裂的原因，提出了产品改进的意见。

29 关键时刻，一锤定音

经改进后的“东风-3 号”导弹共三发，于 1967 年 5 月运抵基地。5 月 19 日，第三发弹进入发射程序，但发现气管连接插座底板变形，不能给推进剂储箱加压，先后两次中止发射。在这种情况下，试验人员只好再召钱学森亲赴基地。

24日钱学森到达基地，便立即组织技术人员进行故障分析和现场技术处置。由钱学森坐镇，指挥技术人员一一排除故障。对有的技术问题，他则运用自己的知识，大胆进行现场处置和决策。比如，在推迟发射，泄出推进剂时，由于操作人员思想过于紧张，忘了开通气阀，造成导弹箱体内真空，在大气压力的作用下，弹体瘪进去一块。在场的人看了都十分紧张，认为这是一个大故障，导弹不能发射。

钱学森听完汇报，亲自爬到发射架上，察看故障情况，认为壳体的变形并未达到结构损伤的程度。他结合自己在美国做圆柱壳体研究的经验认为，点火发射后，箱体内要充气，弹体内压力会升高，壳体就会恢复原来的形状，所以他主张发射照常进行。当时由于参试人员，也包括试验基地的指挥员从未经历过这种情况，所以钱学森讲的虽然很有道理，但大家仍心存疑虑，意见得不到统一，最后只好由钱学森署名，将这一情况向聂荣臻报告。聂老总看了钱学森的报告以后表示：“这是一个技术问题。既然技术上由钱学森负责，他说可以发射，我同意。”5 月 26 日和 6 月 10 日，“东风-3 号”导弹 01 批第三、四发弹先后发射成功，这为我国后续的“东风-4 号”和“东风-5 号”导弹的研制和发射开拓了道路。

第十二章

为第一颗卫星上天艰辛工作

30 “651工程”

我国第一颗人造地球卫星是1970年发射的，而第一颗人造卫星作为型号是1965年正式开始研制的，然而，钱学森探索人造卫星的工作在此之前早就开始了。

1958年5月17日，毛主席在中国共产党八届二次会议上宣布：“我们也要搞人造卫星!”此后，钱学森便一直在思考我国卫星事业的发展问题。

1958年，中国科学院成立以钱学森为组长，赵九章和卫一清为副组长的领导小组，负责筹建人造卫星、运载火箭以及卫星探测仪器的设计和空间物理研究的机构。

1961年6月，在钱学森、赵九章等人的倡导下，中国科学院开始举办持续12次的星际航行座谈会。在第一次座谈会上，钱学森发表了题为《今天苏联及美国星际航行火箭动力及其展望》的讲演。他在讲演中除了介绍苏美火箭发展的情况以外，还从科学上指出：“在航空飞行中，我们总是同空气动力打交道，而在星际航行中，由于飞出了地球稠密大气层，气动力问题是次要的，起主要作用的是重力、推力及惯性力问题。”所以，“重力场问题非常重要。所谓最优发射轨道，最优飞行轨道问题，主要是尽最大可能，使重力垂直于轨道，使推力垂直于重力。所以，在星际航行中，我们会遇到一些全新的问题。”

1963年，中国科学院成立了由竺可桢、裴丽生、钱学森、赵九章领导的星际航行委员会，负责组织制订星际航行发展规划，安排预先研究课题。

钱学森作为一名战略科学家和我国航天事业的最高技术负责人，提出了我国人造卫星工程的顶层设计方案。他提出，先放探空火箭和气象火箭，为研制运载火箭和放卫星储备技术，积累经验。气象及大气研究的传感器由地球物理所负责，生物及生物实验传感器由生物物理所负责，火箭

探测头的测量程序盘及电源、自动装置由自动化所负责，气象火箭及火箭的头部结构由上海机电设计院负责，飞行动力学安排力学所、数学所研究等等。

到1964年，我们自己独立设计和研制的"东-2"导弹试验成功，探空火箭也有了几次成果以后，钱学森感到发射人造卫星已经有了比较可靠的基础，于是在1965年1月8日，他正式向国家提出报告，建议早日制订我国人造卫星的研究计划并列入国家任务。

钱学森在报告中指出："自从苏联在1957年10月4日发射第一颗人造地球卫星以来，中国科学院及原第五研究院对这项新技术就有些考虑，但未作为研制任务。现在看来，人造卫星有以下几种已经明确的用途：测地卫星、通讯及广播卫星、预警卫星、气象卫星、导航卫星、侦察卫星。重量更大的载人卫星在国际上的应用，现在虽然还不十分明确，但也得有所准备。现在我国弹道式导弹已有一定的基础，现有型号进一步发展，即能发射100公斤左右重量的仪器卫星。这些工作是复杂艰巨的，必须及早开展有关的研究、研制工作，到时才能拿出东西。因此建议国家早日制订我国人造卫星的研究计划，列入国家任务，促进这项重大的国防科学技术的发展。"

聂荣臻很重视钱学森的建议，指出，"只要力量上有可能，就要积极去搞"。

1965年4月29日，国防科委向中央专门委员会报告了张爱萍邀请张劲夫、钱学森、孙俊人及国家科委、国防工办专业局的负责同志和专家进行研究的结果，提出了在1970年或1971年发射我国重量为100公斤左右的第一颗人造地球卫星的设想。

中央专门委员会于1965年5月4日、5日召开的第12次会议和8月9日、10日召开的第13次会议，原则上批准了我国第一颗人造卫星的规划方案，以及争取在1970年左右发射我国第一颗人造卫星的设想。

由于钱学森的建议是1965年1月提出的，所以，第一颗人造卫星的工程代号为"651工程"。

31 受命于危难之际

开始，“651 工程”在总体上的分工是：中国科学院搞卫星和地面跟踪测量系统，七机部搞运载火箭，国防科委的 20 基地搞地面发射设备(后地面跟踪测量系统也划归国防科委试验基地负责)。

但是，卫星工程上马不久，就赶上“文化大革命”。中国科学院是地方单位，又是知识分子比较集中的地方，所以首当其冲受到破坏。

为了保证卫星工程顺利进行，1966 年 12 月，中央专委决定将卫星研制任务改由国防科委全面负责。1968 年 2 月，国务院、中央军委批准国防科委组建空间技术研究院，将科学院原来从事卫星工程的单位划归空间技术研究院，担负卫星研制任务，并任命钱学森兼任空间技术研究院首任院长。到 1969 年 9 月 15 日，周总理在一次小专委会上明确指定：“‘651’总抓，由国防科委负责，钱学森参加。”所以，在“651 工程”中，钱学森实际上是担负大总体，即星—箭—地面系统三大方面总的技术协调和组织实施工作。

在运载火箭方面，钱学森提出了一个更为快捷的实施方案。他不主张专为发射人造卫星设计研制运载火箭。他建议充分利用已有导弹和探空火箭的技术基础，将二者结合起来，组成发射卫星的运载火箭。他认为，走这个路子可以大大缩短研制时间和人力物力。后来的事实证明，他的这个研制思路是完全正确的。所以发射第一颗人造卫星的“长征-1 号”火箭是在“东风-4 号”导弹的基础上，在上面加一个固体的第三级火箭组成的。

“东风-4 号”和“长征-1 号”实际上是同时开始研制的。钱学森认为，“东风-4 号”和“长征-1 号”是在综合了“东风-3 号”技术成就和设计概念的基础上搞起来的，新的因素是高空点火和两级分离。照理说，这个型号是有了比较好的技术基础的。

但由于“文化大革命”的干扰，一些领导干部和老专家被打倒，七机

部 915、916 两派的斗争十分激烈，派性斗争甚至渗入到技术工作之中，常常使研制工作无法进行。

周总理只好遵照毛主席的指示，宣布对七机部实行军管，并对钱学森等一批老专家进行保护。由于钱学森是世界著名科学家，又受到毛主席、周总理的保护，所以两派都不敢揪斗他。因此，在“文化大革命”期间，钱学森发挥着一种与众不同的特殊作用。他虽然负责技术工作，但也得常常陪同军管会负责人，接待“造反派”，做群众工作，以示他对军管会的支持。甚至有时在深夜，有时在凌晨，只要造反派闹到北京，他们就立即接见，耐心说服。

1967 年，中国的“文化大革命”运动发生了两件大事：一是在所谓“上海一月风暴”的推动下，全国“造反派”掀起了一场“夺权”高潮，七机部也被“造反派”夺了权；国防科委是军队单位，未发生夺权事件。但接着开始的批判所谓的“二月逆流”事件，却把国防科委主任聂荣臻同志也打倒了。一时间，人造卫星及其运载火箭的研制工作陷入了困境。周恩来心急如焚，他在一次讲话中要求国防科委领导同志要顶住压力，挺直腰杆抓工作。不能因为“二月逆流”把大家都搞得灰溜溜的。

在这种情况下，1968 年 2 月 8 日，国防科委召开“651 工程”会议，鉴于当时科研和生产形势十分严峻，会议决定各单位召开“抓革命，促生产”动员大会，并指定钱学森去七机部一院动员。

2 月 9 日，钱学森在一院召开了“东风-4 号”和“长征-1 号”动员大会。他刚一开始讲话，就有一个“造反派”站起来打断他的讲话，说：“你们名义上说抓革命，促生产，实际上是以生产压革命，阻止我们对聂荣臻的批判”。钱学森见来者不善，立即提高嗓门儿说：“我今天是受毛主席、周总理的委派来召开这个大会的。‘651 工程’是毛主席亲自批准的，这是他老人家对我们的最大信任，最大鼓励，也是最大的鞭策。我们不能辜负毛主席的期望。两派一定要联合起来，抢时间，保质、保量完成‘东风-4 号’和‘长征-1 号’任务。谁要是在这个问题上闹派性，影响了卫星上天，那就是政治问题，是对毛主席的不忠。”他的话一时间把那些还想“造反”的人都镇住了。接着他要求两派头头都要在会上对这个“大是大非问题”表态。动员大会基本成功，“派性”暂时受到扼制。

尔后他又在 1968 年 3 月 6 日到一院听取“东风-4 号”和“长征-1 号”技术问题汇报，并部署下一步工作。钱学森在会上提出：总的要求是

卫星不放则已，一放就要成功。他再次明确指出，一院是“长征-1号”的抓总单位，四院的固体发动机也归这个口。协作配套问题，一院要主动与各有关单位协调。

他也提请“长征-1号”总体部和总设计师考虑：二、三级滑行段姿态控制系统是否要做环境模拟试验？在失重条件下的晃动问题，力矩是多少？12所是否要兼搞气执行元件及气控系统？并说，这是一院的新问题了，将来也联系到弹头的工作。他还嘱咐：北京科仪厂有一批试验阀门，要按时完成，不能停下来；梅林化工厂的小电池研制工作要落实；等等。

按照钱学森的部署，6月下旬，为解决滑行段喷管控制问题，七机部一院进行了滑行段晃动半实物仿真试验，结果出现了晃动幅值达几十米的异常现象，这使科研设计人员十分震惊。

钱学森亲临现场，在讨论中众说纷纭的情况下，他十分有把握地认定：滑行段在近于失重状态下，原晃动模型已不成立，此时流体已呈粉末状态，晃动力应该很小。所以地面上进行的这种模拟实验，并不代表空间运行的真实情况，不会影响飞行。后来多次飞行试验证明，这个大胆的结论是正确的。

到1969年，由于动乱，“长征-1号”试车无法进行。1969年7月17日、18日、19日和25日，周恩来总理4次召开会议，解决地面试车问题，并委派钱学森协同七机部军管会副主任杨国宇，全权处理有关试车事宜。钱学森来到试车台，他和杨国宇一起，费尽了口舌，耐心做两派群众的工作，有时还不得不和个别人展开激烈辩论。钱学森的辩论口才众所周知，加之他身份特殊，且论之有理，个别造反派头头在他面前也不得不有所顾忌和收敛。

经过艰苦的工作，在1969年的7、8月份，“长征-1号”连续进行一、二级，二级，二、三级和三级4次发动机全推力下的试车。钱学森每次都亲临现场，他不仅要做群众的思想工作，更要密切关注试车中的技术问题。在那个特殊的动乱年月，有时技术问题和派性问题又搅和在一起，真是越搅越乱。比如关于“长征-1号”的陀螺抗振问题，钱学森在专委会上向周总理汇报时指出，实际上是两派在争斗，所以得不出统一认识，问题一直拖着不得解决。周总理立即指出：“不论915还是916，两派都不能用这件事争长短。”遵照周总理的指示，钱学森协助军管会主任张翼翔做两派的工作。经过艰巨的努力，好不容易才统一了认识。



钱学森与周恩来（20世纪60年代末）

在排除派性的干扰以后，对技术问题，钱学森作结论说："我们在'长征-1号'的陀螺工作中，有两个问题没认识到：一是对抗振问题没有认识到'扫描'试验的重要性，也就是对抗随机振动没有认真研究；二是对发射卫星的要求未加仔细研究，把发射卫星同打导弹等同起来，这也是不对的。"他说："这些问题的出现，一方面是由于我们没有实践经验，另一方面也是由于我们没有过细地做工作，必须引以为戒。"既然找到了问题的原因，他就要求两派要团结起来，共同努力解决。经过这一系列艰苦细致的思想工作和技术工作，才保证试车得以在8月22日取得成功，这在当时也算是一件大事，周总理为此向七机部表示祝贺。

1970年元月，"东风-4号"发射成功，并顺利实现高空点火和两级分离。至此，第一颗人造卫星的运载火箭问题基本解决。

32 《东方红》乐曲传遍全世界

在卫星研制方面，钱学森的任务也是十分繁重的。他在“文化大革命”的高潮中出任空间技术研究院（按新编序列是“五院”）院长，可以说是受命于危难之际。他首先得把五院的机构组建起来。考虑到科学院划拨过来的人员在总体设计方面相对薄弱一些，他立即从一院总体部调来孙家栋等少数人员，加强总体设计的力量。

他说：“先把‘东方红’卫星的工作组织起来，成为一部分总体工作；再调王希季来，把返回式卫星‘尖兵’型号的工作组织起来，成为另一部分的总体工作，以便为成立总体部创造条件。”

他还提出，总体部的人知识面要广，既要懂工程上的问题，又要有比较广博的科技知识。学工的人知识面狭窄，而学理的人基础知识面较宽，这正是来自科学院的人员的优势，要让他们尽快熟悉工程上的问题，从中培养出一批适合搞总体设计的人员。

为了使五院尽快走上正轨，钱院长抓的第二项工作是规划问题。

原来科学院对卫星问题曾有过规划。新五院成立起来以后，要按照新的形势和要求，对过去的规划进行清理，明确五院的卫星重点是为国防和国民经济服务，兼顾空间探索。因此应用卫星被列为重点。目前的中心任务是保证“东方红”卫星上天，“尖兵”也被列入重点。导航卫星、气象卫星、通信卫星则往后排，载人飞船当时命名为“曙光号”，则作探索性研究。

与此同时，五院的基本设施建设，如热真空模拟室也在加紧建造。在原有2米直径的KM–2热真空模拟室的基础上，再建一个7米直径的KM–4。由于建这种设施费用很高，其中最贵的太阳模拟灯，约占全部费用的1/3。钱学森提出，是不是非模拟太阳不可？能不能用石英灯代替来加热？他从资料中得知，美国9米直径以上的设备，有半数是用石英灯的。但是问题在于石英灯不能模拟日光光谱，因此对材料的作用与真实情况相比，

可能就有所不同。他提出解决的办法是在 KM-4 中既有日光灯又有石英灯，这样，它们既可以互为备份，又可以进行比较，以便将来得出只用石英灯的办法。这是一个创新建议。

第一颗人造卫星在一定意义上可以说是一颗“政治卫星”。所以对钱学森压力最大的，莫过于“一次成功”的要求，要一次成功地送上天，还要求卫星运行轨道尽量覆盖全球，让世界人民听得到，看得见。周总理也多次要求，要过细地工作，做到万无一失。这些要求归结到一点，就是这一套复杂系统工程设计要正确，且各个部分，各个环节，乃至每个元件、器件、零件等都要质量好，可靠性高，这可是一件十分艰巨复杂而又细致的工作。

为此，钱学森多次听取汇报，不厌其烦地将每次汇报中所反映的大大小小的所有问题都一一详细记录下来，并一一落实解决。他提出要确保：（1）设计工作没有漏洞。为此，他要求七机部和五院要组织设计协调及方案复查。（2）所有的元器件都要齐套，并保证质量，保证可靠性。

1968 年 3 月 29 日，他在听取 651 工程情况汇报时，得知关于器材问题，尚未齐套的就有 18 万 3 千多个，其中 1 千多个到 4 月 20 日才齐套。对此，七机部和五院已无办法。于是他立即把四机部的领导找来，要求他们的两个配套仓库要开仓，仓库没有的，要马上安排生产。凡是承担任务的工厂，都要充分动员群众，确保质量。

为了确保卫星播送《东方红》乐曲准确、可靠、悦耳，他多次听取卫星总体负责人员的汇报，审查设计方案，检查设备质量。当卫星总体超重时，他提出，凡是和广播《东方红》乐曲有矛盾的，都要给广播让路。据此，孙家栋砍掉了一些试验项目，保证了政治任务的完成。经五院和各协作单位的共同努力，“东方红-1 号”卫星的检验星于 1969 年 9 月完成了全部环境模拟试验，星上各系统工作正常，尤其是《东方红》乐音的质量很好。1970 年 3 月两颗发射星的总装工作开始，钱学森对即将发射的卫星质量也心中有数了。

“651 工程”中，有关地面发射和跟踪测量系统是由国防科委的基地承担的。那时钱学森还未到国防科委工作，但周总理指定他是“651 工程”技术上的总负责人，所以，对地面发射和跟踪测量系统的建设问题他也得过问。每次国防科委召开这方面的会议，都请钱学森参加。有时基地的同志直接向他汇报，听取他的指导意见，并请他协调与星、箭之间的重

大技术问题。所以，在地面发射和跟踪测量系统的建设中，钱学森从一个更高的层次上做出了自己的贡献。

当时，担任测控系统技术负责人的陈芳允回忆说，我们那时在下面做具体的技术工作，但航天技术是一项庞大的系统工程，这个系统与那个系统之间都有密切关系。像我搞的测控系统，不管是技术指标，还是工程施工，经常要与卫星系统和火箭系统协调，还要找工业部门配套。这些工作像我们这些在下面工作的技术人员很难做，跑了半天，人家都不听我的，协调不了。当时我们遇到这种大问题，就去找钱老，求他帮助。钱老的身份和地位与我们大不一样，他有权威性，说话算数，由他出面召开协调会，得出几条结论，大家都得照办。所以中国的导弹航天事业要是没有钱老这样一位权威人物，那可就难办了。

1970年4月24日，在周总理的直接关怀下，钱学森、李福泽、杨国宇、任新民、戚发轫等在酒泉卫星发射场，组织实施了我国第一颗人造卫星的发射工作。重173公斤的卫星发射成功。这颗卫星向全世界播送的《东方红》乐曲，宣告新中国迎来了航天时代的黎明。

钱学森在4月25日的庆功大会上发表了讲话，他一方面热情地歌颂了这一伟大成就，对各方面的贡献加以表彰和感谢，同时还作了自我批评，说卫星发射时间一再推迟，使日本赶在我们前面，成为世界上第四个用自己的运载火箭发射卫星的国家。他说，作为老五院、七机部的领导成员，对此，他负有不可推卸的责任，并欢迎同志们批评。最后，他引用毛主席的话："夺取全国胜利，这只是万里长征走完了第一步。如果这一步也值得骄傲，那是比较渺小的，更值得骄傲的还在后头。"以此来鼓励大家，进一步开创我国航天事业的新局面。

33 毛主席回过头来，却没有找到他

1970年五一国际劳动节的晚上，钱学森、任新民、戚发轫等科技人

员，应邀上天安门城楼观看焰火。毛主席亲切地接见了他们。当我国的第一颗人造卫星划破天空，飞临北京上空时，天安门广场成千上万的群众一下子平静下来，大家都侧耳聆听卫星上播出的“东方红，太阳升”的清脆乐声。当他们真真切切地听到自己的人造卫星从太空播放他们所熟悉的音乐时，广场上立即爆发出“毛主席万岁”的欢呼声。站在城楼上的毛主席和所有党和国家领导人都热烈鼓掌。这意味着中国人民不仅站立起来了，而且新中国真正地强大了！这可以说是新中国发展史上的一个重大里程碑。

当人们在尽情地欢呼歌唱时，钱学森却悄悄地退到了后排，站在一个很不显眼的位置，连毛主席回过头来，都没有找到他。他一贯坚持认为，一切成就归于党，归于集体，他个人只是沧海一粟。

在20世纪60~70年代，对于我国国防科技中的其他重大型号和重大技术问题，钱学森也以一个技术领导人的身份，在这些型号的方案论证、技术攻关、重大问题的组织协调及发射试验等方面，付出了辛勤的劳动。这些型号包括“东风-5号”液体洲际导弹、“尖兵”返回式卫星、固体火箭发动机和固体导弹、核潜艇和潜射导弹、“长征”系列运载火箭、地球同步轨道通信卫星、地面测控系统和远洋测量船、冲压式发动机、氢氧发动机、“红旗”系列、“海鹰”系列和“上游”系列等，当然，也包括反导问题。

关于导弹防御和反导问题，美国在20世纪60年代曾搞过这方面的工作，也进行过反导试验，但基本上都不成功，搞搞停停。钱学森很注意这些动向，但鉴于我国当时的情况，这个问题并未提到日程上。

1964年2月6日，毛主席在中南海寓所，约见李四光、竺可桢和钱学森，和三位科学家谈谈科学技术方面的问题。据钱学森后来回忆说，毛主席穿着睡衣，半躺在床上。他的床很大，上面放着许多书，有的线装书上还夹着标签。他们三人则围床而坐，谈话并没有固定的主题，气氛很轻松。

钱学森说，三人之中，他最年轻，属晚辈，所以在开头他并没有说话，只和毛主席一起，听李四光和竺可桢谈话。李四光向毛主席谈了地质学和探矿方面的科学问题，竺可桢则谈气候和农业方面的科学发展。在他们谈话中间，毛主席时而插话，时而提问，兴趣甚浓。

过了一会儿，毛主席见钱学森没说话，便主动问他：“你搞的导弹那么厉害，有没有办法对付它啊？”钱学森说：“美国搞了些试验，但不成

功。”于是毛主席讲：“有矛必有盾。再厉害的东西总可以找到对付的办法嘛。搞少数人，有饭吃，专门研究这个问题。5年不行，10年；10年不行，15年，总可以搞出来的。”

为了迅速落实毛主席的指示，钱学森一回来，便立即向七机部和国防科委的领导汇报了毛主席的谈话。聂荣臻则指示国防科委副主任罗舜初，迅速组织人员，落实毛主席的指示。最后决定，由七机部二院组织反导问题的探索和研究，并定名为“640工程”。

为了落实毛主席的这一指示，钱学森也下了很大工夫，和二院的科技人员一起，研究各种可能的反导途径和手段。他先后提出用导弹打导弹，用激光打导弹，用超炮打导弹等手段；也安排和部署了导弹防御、预警系统的研制和反截击物理现象的研究等。这个问题一直搞了十几年，最后由于许多基本理论和重大技术问题无法突破，“640工程”不得不下马。钱学森后来一直认为，在这个问题上，我们应该总结经验教训。对于这么重大的问题，作为一名科学家，钱学森只能执行中央的决策。他对此一直是胸怀坦荡的。

第十三章

担任国防科委副主任

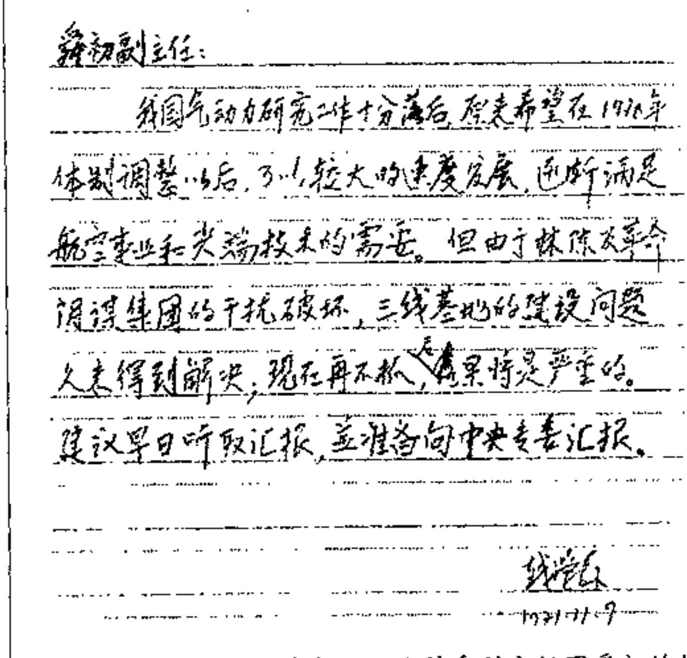
34 创新、超前的见解

1970年7月，钱学森调到国防科学技术委员会（以下简称国防科委）担任副主任。在新的岗位上，他虽然仍要花费很大精力，参与组织领导和实施我国导弹和航天技术领域重大型号的研制和发射试验工作，但他以自己广博的知识，开阔的眼界，从更高的层次上，思考我国国防科学技术中许多领域的重大科学和技术问题，并提出过许多富于创新的、超前的见解。有些意见和见解，则是他到国防科委任职以前就提出和发表过的。

在导弹与航天技术方面，钱学森则站在更高的层次，以更加开阔的眼界，关注它们的进一步发展。

钱学森在1969年6月27日指出：我们前一段工作主要是赶上去，从实践中掌握技术。现在应该考虑下一步到底该如何去搞。我认为应该是搞小型化，提高制导精度，搞多弹头，再就是机动发射。

首先是导弹小型化问题。钱学森在1969年3月15日指出，过去搞的型号都是粗大类型的，现在要把小型化问题提到


舜初副主任：
我国气动力研究工作十分落后，原来希望在1970年体制调整以后，可以较大的速度发展，适应满足航空事业和尖端技术的需要。但由于林陈反革命阴谋集团的干扰破坏，三线基地的建设问题久未得到解决，现在再不抓，后果将是严重的。建议早日听取汇报，并准备向中央专委汇报。
钱学森
1971.11.9

1971年11月9日钱学森给国防科委副主任罗舜初的信
（注："林陈反革命阴谋集团"是指"林彪、陈伯达"集团）

日程上来。他首先指出解决小型化问题的几个途径：（1）固体火箭发动机用铝粉提高比冲；（2）惯性器件引用铍合金，小型化；（3）电子元器件用固体组件及集成电路；（4）引用射流技术；（5）提高战斗部（即弹头）效率；（6）提高制导精度，这样战斗部也就可以缩小了；（7）电缆的小型化与轻型化；（8）采用固液型多级结构，减轻结构重量。

他说，采取这些措施以后，我们完全有可能将起飞重量降至可以机动发射的水平，就可以将几发导弹载到潜艇中去发射，这将是一项重大的技术革新。我们自己的任务就是大大加强小型化工作，特别是把制导系统小型化、轻量化，这是一件艰巨的任务。这项工作开始于“巨浪-1号”，而尤以“巨浪-2号”为然。

与小型化直接有关的，是机动发射问题。钱学森说，我们自己的发射点要不为敌人所攻击，最好的办法是使发射点能较快移动，如半小时走30公里，即时速60公里。潜射导弹是一种机动发射。除了潜艇发射以外，也可以用水面舰船从内河航道上发射，用列车在轨道上发射，或者用汽车在公路上机动发射。这就要专门研制载重量大的汽车，还要考虑路面够不够宽，桥梁够不够坚固等问题。总之，使用上的问题也很多，要相应地解决。

关于潜艇发射的导弹，钱学森说，潜艇装的弹道式导弹最重要的特点是体积及长度的限制，即体积与长度越小越好，这对超高速潜艇就更加重要了。因此，核弹头的尺寸要小，重量要轻；制导系统的尺寸要小，重量要轻；采用高比冲、高密度的推进剂等。

用什么样的推进剂好？钱学森在略去空气阻力的影响，假设燃烧时间相差不多的条件下，进行了一套数学推算，得出结论说，看来用 $A1H_3$、$C1F_3$ 这类可贮存的固液型推进剂比固体推进剂还好。总之由超高速潜艇发射的弹道式导弹，因其体积有限制，则不同于地对地弹道式导弹。这是弹道式导弹的更高一级发展，也是由于这个限制，就必须引用成本高的推进剂，而且还要克服推进剂的毒性问题。一切要注意压缩体积，连发动机喷管的设计都有这个问题，这是设计概念上的大变化！他最后还提出，为了增加射程，有必要发展高能的第三级。

联系到固液型或液固型火箭发动机，钱学森说，从核潜艇发射导弹是一件非常重要的事情。我们一方面要努力研制固体火箭发动机，使用高密度、比冲大的推进剂，但这方面也有一定的困难。比冲大意味着能量大，

因而就不太稳定，有危险，所以我们必须同时研究固液或液固型火箭发动机。但是搞这种发动机，最好要保持固体发动机的优点，即是多级的，非常简单。我们最好把液体挤压到燃烧室去，而不用泵。

对于如何制造 AlH_3 这样的推进剂，钱学森也提出了自己的设想：

(1) 用极为干燥的氢气通过加热的铝粉（例如电加热），形成沸腾床的状态。氢气可以回收，除去水蒸气，再进入反应器。水汽是还原氧化铝生成的，其反应方程是：

$$Al_2O_3+3H_2 \rightarrow 2Al+3H_2O$$

$$2Al+3H_2 \rightarrow 2AlH_3$$

氢化铝生成于铝粉颗粒表面。

(2) 也可以考虑把铝粉用氢气吹入电弧中，然后收集粉状产物。

也许这两种方法都有一个纯化产物的问题。好像还有气态的 Al_2H_6，而 $(AlH_3)_n$ 聚合物才是固态的。有没有可能让 $(AlH_3)_n$ 本身就能成为塑料？

当然，钱学森认为，固体推进剂火箭发动机也要进一步发展。他说，从 1965 年开始加铝粉，解决了大型固体发动机的燃烧稳定性问题以来，我们已经成功地研制出“长征-1 号”运载火箭的第三级固体发动机，这是大大地前进了一步。今后的任务是在此基础上，如何尽快地赶上和超过世界先进水平。另一个方面是降低死重的问题。这是一个非常重要的问题，要专门组织力量研究。包括：用碳丝缠绕壳体；降低残药的重量；降低喷管的重量；降低推力方向控制的重量；降低点火器的重量；降低推力终止系统的重量。还有一个问题是严格装药的控制，力求减小散布度。再就是开始进行存放寿命的研究工作，解决长期贮放中出现裂纹的问题。这件事关系到基地的建设，而且试验又费时间，所以是十分急迫的。

钱学森还提出了三组元推进剂的问题。他从国外资料获得了这方面的信息：据说用液氟+熔锂+液氢，比冲可达 600 秒；而用液氧+BeH_2+液氢，比冲可达 550 秒。所以他指出应该召开一次三组元推进剂的会议，讨论一下方向，安排工作。

反截击和多弹头问题是导弹技术的一项重要发展。钱学森归纳说，现在想到的反截击技术有：雷达波吸收涂层；控制姿态，不翻滚；高空轻诱饵；重诱饵；重诱饵加干扰机；多弹头（多个战斗部）；机动飞行。尤其是加了机动飞行，弹头实际上已成为超高速滑翔机了。从“东-1”的弹

头，我们逐步演变，开始是量变，现在到了质变的阶段。因此，我们的认识必须改变，一定要改变习惯想法，大变。

关于多弹头问题，钱学森在 1969 年 6 月 8 日对 n 个小弹头与一个同等重量的大弹头的破坏面积进行了推算。从计算结果看出，仅从破坏力来看，多头再人的意义在于：（1）充分利用已有的大运载能力火箭；（2）充分利用大大减小的引爆装置。

另一种看法是从突防技术的观点出发，即用多弹头可以使得敌人一个防区的反导弹武器系统成为饱和状态，因而增加导弹的突防能力。当然，这一效果也可以用多发单弹头导弹同时落人一个防区来达到。但是用多发导弹需要花费巨大的人力、物力。自然这两种途径的突防效果不完全相同。多弹头导弹总有一个子弹头的分离点，如果反导弹武器能够在它们分离前拦截这发导弹，那就将多弹头一网打尽了。而用多发导弹同时进攻一个防区则没有被一网打尽的可能。由此看来对付多弹头技术的办法是高空拦截或中程拦截，这又突出了反导弹系统的高空方案。由此而产生一个问题是，我们现在用多种诱饵的办法是否有效？是用诱饵，还是用多弹头？这是个问题。

多弹头导弹的每一个子弹头可以不加控制，也可以自带控制系统。自带控制系统是多弹头技术的发展，所以到 1969 年 7 月 4 日，钱学森又进一步分析了分别自控的多弹头武器问题。他说：运载工具即液体火箭和固体火箭的运载能力越来越大，这样就能够加大弹头的总重量。而另一方面，由于核武器研究的进展，每个核爆炸装置的重量在不断减轻，所以就可以同时送几个核爆炸装置，即多个弹头。同时送几个核弹头，又分别自控，即再人过程中有控制，或有按预定程序进行空气动力的飞行轨迹控制，从而达到分别打击各自的目标。这样一来，敌人的防御就有饱和的可能，从而达到突破。这是分别自控的多弹头技术的背景。

通过空气动力的控制，实现再人飞行轨迹的变动，这本来是美国进行了长时期工作的，原来的目的是载人飞船返回时，航天员可以改变着陆点。根据这些工作，知道 8 公里/秒速度的再人体，可以利用空气动力产生的升力和侧向力，把着陆点在前后近千公里，左右二三百公里的范围内变动。所以分别自控的弹头可以大约在这么个地区着地，这就是分别精确地命中目标群中的每个目标。

我们的技术途径可以是几个弹头在一起，外面只有一个极轻的风罩，

连同末级在一起。风罩也可以在第二级点火后就甩掉。每个弹头外面有防热层，里面有空气动力控制的程序装置。末级里有运载火箭的控制系统，自然也有计算机。这个系统可以计算末级连同多个弹头的实际轨迹，一直到再入的前一瞬间，并可以最后把修正信号加到每个弹头内部的控制机构，增加每个弹头的命中精度。然后同末级脱开，子弹头也各自分开，开始各自的再入飞行过程，直至命中目标。我们在这里强调自控，为的是不让敌人用干扰手段，但也可以进一步考虑用目标跟踪系统，那就可以更精确，但是更复杂些。

这样一项任务是很艰巨的，是对弹头工作的一个大促进，也是对高速气动力工作的大促进！

根据以上分析，钱学森提出了多弹头再入问题的研究课题：（1）空气动力方面，设计能机动飞行的再入体；（2）弹头再入的制导系统；（3）末制导，如地图比较末制导；（4）无线电对抗、干扰措施。

另外，除了以前提到过的空气动力工作和模型试验工作以外，还要开展以下的预先研究：（1）在大气层外的火箭动力变轨，其可能性；（2）在大气层外的轻质诱饵；（3）在空气层内连续放诱饵（锡箔）；（4）雷达干扰措施；（5）末制导和小型惯性制导系统。他估计，这类研究的工作量将是十分庞大的，很有必要开一个会，作全面部署。

有人提出，弹道式导弹能不能够攻入地下去爆炸？这是一个新问题，对此钱学森作了如下分析：

1. 这种导弹为的是打击敌人的地下要地设施，也就是去想办法对付抗核爆炸最有效的方法，破这道防御。二炮的同志提出过这种设想，但还没听说外国有人研究。

2. 这种导弹要发挥其威力，就必须能非常准确地命中目标，因为如果误差大了，地下爆炸的威力就不能摧毁敌人的防御工事。我们可以要求0.1公里的精度，即公算偏差 $\sigma=0.1$ 公里。这个精度如何才能达到？（1）依靠精确的目标定位；（2）依靠精密的制导系统；（3）依靠末制导。而最后一种方法也是分导式多弹头再入的一种制导方法。

3. 再一个要求是入地的设计。可以考虑的方法是：（1）前向聚能化学炸药的爆炸，目的是在地上钻一个孔；（2）然后是穿甲弹进入这个孔，在孔底爆炸。

4. 对这样的设想就要做许多实验研究，聚能炸孔要多少化学炸药？

随之而入的穿甲弹要多坚厚的壳体才能保护原子爆炸装置？原子爆炸装置如何设计才能抗得住那样大的加速度？但是所有这些都是技术上的问题，不是不能解决的，其难度并不比造氢弹以前的摸索过程更难。我们也可以参考膛式发射火箭的设计，去考虑如何抗极大的加速度。

5. 也许这样的导弹头是非常重的。如果说要用两吨化学炸药去穿孔，要用 1 吨的核爆炸装置，而穿甲壳重 10 吨，那加在一起就是 13 吨重。重 13 吨的弹头也不是不可能的！

钱学森也考虑到核爆炸的辐射对导弹元器件的影响问题，这是核大战条件下的一个重要问题。1969 年 11 月 26 日他对此进行了系统的分析。他说，核爆炸产生几种短期辐射，它们能在几十公里的距离内引起导弹电子器件的短期或最终失效。这几种辐射是：

1. 高能中子。快中子在爆炸的一微秒中释放出来，当它打到材料上时，就如一个高速弹丸，引起材料中结构的破坏。这就产生永久性的破坏，尤以在半导体器件中为然，因为半导体是靠其有规则的结构来工作。

2. γ 射线。它是在爆炸时，以脉冲形式发射出来的，长不过几个微秒。这是所谓即时的 γ 射线，以区别由于核爆炸产生的放射性产物发出的 γ 射线，那是所谓后效 γ 射线。后效的 γ 射线在爆炸一分钟时间内其强度是比较高的，其中也包括空气中氮原子核吸收中子所产生的 γ 射线。后效的 γ 射线因其持续时间长，其总剂量可以为即时 γ 射线的 100 倍。但毕竟因即时 γ 射线的强度高，对电子器件的破坏效果更大。

3. X 射线也在核爆炸中产生。在低空中，X 射线很快就被空气所吸收，但在几百公里的高空，X 射线可以走相当一段距离才被吸收。在核爆炸后的一分钟左右时间，这种辐射的强度比较高，对电子器件有较大影响，这叫做初始辐射。在此之后，辐射能量低，可以持续几小时以至几天，那只对人体有害，对电子器件的效果不大，这叫做后效辐射。

γ 射线和比较高能的 X 射线在为材料吸收时，能产生几种暂时的后果。对电子器件来说，这里面最重要的是电离，即由于某些原子的电子被打出去而引起的电离。这能把绝缘体暂时变为导体，产生内部电流，叫“光电流”，这是电子器件正常工作时所没有的。一般在 γ 射线或 X 射线停止后，经过短时间器件即能恢复正常。但是对弹道式导弹和核弹头来说，暂时的失效也会引起导弹走邪了，或核弹头的过早起炸。而且即便是暂时的现象也可以产生永久的破坏，例如极大的内部电流也可以烧坏金属

接头，使器件永远失效。这就提出设计时要有防护措施。

氢弹比原子弹能产生更多的高能中子，而且也可以在弹头设计中加强中子的产生。中子对电子器件有什么影响？

中子的速度比光速（γ射线和X射线的速度）慢，但在其对电子器件有破坏作用的距离内，它大约在核爆炸一秒后到达。中子在空气中走，其能量因和原子核的碰撞而减少，其粒子流的强度也因其被氮原子核的吸收（产生γ射线）而减弱。一般未加特殊保护的电子器件，当时间累积到中子流强度大于10^{13}中子/厘米^{2}时就破坏了。普通的100万吨当量核爆炸，如果在天上爆炸，这个中子强度可以延伸到爆心外32公里。但同一爆炸如在低空，这个距离只有1公里。

对γ射线来说，一般未加特殊保护的电子器件，受到10^7rad/秒以上的剂量就坏了。普通100万吨当量核爆炸，如果在天上爆炸，这个强度可以延伸到距爆心160公里处。如果在低空，那距离只有2.5公里。在1公里或2.5公里处，低空爆炸的热辐射和气浪将是对电子器件的威胁。

由此钱学森提出，我们对导弹控制系统如何防辐射的问题要作系统的研究。另外也应该寻找具有抗辐射能力的途径，例如射流技术。这方面的工作对卫星进入地球辐射带后，抗太阳辐射也有重要意义。

钱学森也提出导弹的“三防”问题，即防潮、防锈和防霉。他说：在我国东南、南方、西南都有“三防”问题，而这对尖端精密产品的生产和研制来说尤为重要。从我国的防御角度出发，必须让重要的关键单位进洞，“三防”问题就更加严重了。从国防事业来看，还有一个地下工事的问题，发射阵地也是个洞子，也会有“三防”问题。这样看来，“三防”问题是国防科研、国防工业、国防工事中普遍存在的问题，要开会总结，交流经验，提出措施。

钱学森考虑到国家经济并不富裕，提出搞导弹也要节约的问题。他说，现在看来，由于我们在以前用了弹道固定的捷联补偿式制导系统，一开始又只打近弹道，弹头不能及早得到考验，所以一打全程又会发现弹头再入时的问题，这就浪费了。现在改用了平台式的制导系统，能打各式弹道，这就使以后的型号可以用低弹道、高弹道一开始就考验再入问题，这就是节约。再有一种节约的途径就是做大量的理论计算工作，特别是结合地面模拟试验同理论一道通过电子计算机计算来解决问题，尽量减少全弹试验。例如：随机振荡用功率谱和传递函数来计算。

钱学森还注意到发动机的耗尽关机问题。他说：目前我们在液体火箭发动机的技术中，由于混合比的可能偏差，发动机的推进剂必须留有余量，而这个余量实是死重，十分可惜，它不仅是一种浪费，而且影响导弹的性能。这在一级火箭中，没有什么方法可以解决这个困难。在多级火箭（如三级火箭）中，我们可以让最后一级去控制射程，而第一级火箭或第二级火箭用耗尽关机的方法。这样我们可以通过概率的计算，调剂有无，减少总的余量。这个问题应该加以研究，看来对改进我们的导弹是有用的。

35 情系航天

在航天技术方面，钱学森在 1969 年提出研制从机场起落的航天运载工具。这是航天技术和航空技术的结合，美国在 20 世纪 70 年代搞的航天飞机就是这种技术的雏形。他也认识到，随着航天技术的发展，它将能为国民经济建设做许多贡献。除了通信、气象等卫星以外，更长远的，他注意到可以在天上搞生产，那里的环境特殊，前景十分诱人。对此，他分析说，我们必须看到天上的条件有其特点：（1）有太阳的辐射，有各种粒子流；（2）极高的真空；（3）失重的条件。

如果在天上建立车间，即在航天站上搞个车间，我们就能利用这些特殊的条件来进行生产，所花的劳动量（包括送东西上天的劳动量）比在地球表面的劳动量少，那在天上搞生产就划算了。

现在看来，天上生产有哪几个方面的可能性呢？（1）制造折射率高的特种玻璃，如氧化铝、氧化铪玻璃，从而能在复合棱镜中解决二次光谱校正问题；（2）制造无缺陷的电子器件用晶体；（3）制造需要特殊分离过程的药物，如用离心分离机和电渗方法制造的菌苗；（4）制造新的合金，这里花样很多，也就是各种新材料；（5）制造和分离同位素，有人认为从天然钍可以在天上生产铀-233；（6）制造高强度的硼丝，直接将

熔化的硼用电磁场来拉丝。

所以当我们在天上建立了航天站，并解决了往返多次的运输问题之后，就逐渐具备了在天上搞生产的条件，也可以设想，这在21世纪将是一个不小的工业。

在天上还可以搞农业。钱学森说，天上阳光充沛，是搞农业的好场合。将来地面上农业生产满了，可以到天上去。也可以从另外一个角度出发，即太阳光射到地球表面的只有极少一部分，我们到天上去，就可以捕获地面以外的太阳光能量。这是一个开发。将来也可以把太阳光反射到地球的夜间表面，这也是提高产量的一个办法。

他说，这些当然是十分遥远的事情。

第十四章

总结“两弹一星”工作中的规律

36 共性与个性

钱学森十分重视研究总结“两弹一星”工作中的共性问题和个性问题，即一般性问题和特殊性问题。对于这两类不同性质的问题，要归纳总结它们各自的内涵和规律，区别不同的性质和职责去处理解决。处在国防科委的领导岗位上，钱学森尤其注意共性问题的统筹解决。

首先钱学森提出，在国防科研系统内，通用性的大型设备和技术最好集中起来。这包括以下几个方面：

1. 计算速度极大，贮存容量极大的电子计算机，一家独占可能不会充分发挥其作用。如果集中起来成立一个计算技术中心，此中心包括以下几个方面的工作：（1）新电子计算机的研制；（2）已有的计算机的维护；（3）新计算方法的研究；（4）生产性的计算工作。

2. 计量工作也要集中起来，成立计量研究院或计量中心。也可以考虑把分析化验工作集中到这里来，随同计量站设地区分析化验中心。将来与地区的器材供应中心结合起来。

3. 在国防科委体系中，重型设备的机加工工时比较多，因此除各研究院自己有的试制厂之外，应该有重型机械厂。

除此之外，他在1969年7月6日又总结了各型号院共性的问题：（1）标准件的供应；（2）材料、器件的地区仓库和化验分析；（3）计量和仪器的维修标定；（4）标准化问题；（5）中央计算站（即地区计算站）；（6）劳动保护问题；（7）情报资料问题，包括图片、电影；（8）机械、机床的维修。

他说，看来以上这些问题：第1、2、8项由工业部门去解决为好；第3、5、7项由国家科委去解决为好；第4项标准化工作，总的在国家应该有统一管理的部门，如国务院下设国家标准局。有了这个统一的机构，下面各单位自己的工作就可以发展了。国防科委还要抓一下第6、7项，因为这里有机密性比较高的问题。

器材供应的共性问题是:(1)电子元件、器件、仪器的供应; (2)标准件的问题; (3) 机床的问题。电子元件、器件、仪器属于一类性质。目前是向国防科委口以外要，这越来越困难了。因此国防科委必须建立起自己的供应系统，并安排四机部生产。而标准件，如：螺钉、螺栓、螺帽、钉子，管子、阀门，组合夹具，电子管、晶体管、电阻、电容、电感、继电器，接插件，弹上电源，包括一次电源和二次电源，电线、电缆、微电机，液压元件、气压元件、电爆管、电爆器、射流控制器件等的生产是一个重要问题。不能像过去那样由各工业部门自己去搞，一定要全国统一规划，分区配套生产，分区供应。他还特别细心交待，技术上应该尽量避免用切削加工，而用无切削法。

电缆在导弹上用得很多，因此它也是导弹轻量化必须解决的一个问题。能有什么办法呢？他说：

(1) 减少仪器的耗电量，即减少功率，晶体管化，进一步要集成电路化。这样电线就可以做得更细；能不能变铜线为铝线？大大降低绝缘和包覆层的重量，提高包覆材料性能；改进电缆网的设计，减少往返电路，减少电线长度；减轻接插件的重量，改进接插件的可靠性。

(2) 一个革命化的措施是把电缆网同结构结合起来，即弹体结构就是一个大母线。把电线埋在壳体里，一面是强度的作用，一面是导电的作用。

(3) 能不能在弹体外壳封闭的条件下，在弹体内部用无线电传播信号，不用电线？这三个问题也是第一步、第二步、第三步的发展途径问题。

国防科研中的个性问题，突出的就是非标准设备的加工生产问题。钱学森说，那么多的研究院所要的非标准设备很多，有些也很大，工时量十分庞大。因此就必须考虑在国防科委系统中有几个强有力的非标准设备加工厂。有些非标准设备的加工应该安排在国防研究院的试制车间或试制厂中。因为非标准设备一定数量少，不是成批生产，是试制性的。国防科研系统干不了的，也可安排在国防工业的工厂里。国防工业的工厂里也安排不了的，再安排在其他工厂里。

另外，像机械设备的精修问题，他说，七机部有那么多精密的机械设备，维修保养是个大问题。因此，他也建议要建一个机床设备精修站，主要是生产精密备件，然后派出小组，带了备件同工厂的维修人员及使用机

床的工人，一起来修好精密机床。

他也很注意“两弹一星”中哪些是有批生产任务，需成批生产并装备部队的，如“红旗”系列的地空导弹，“海鹰”型号的岸舰导弹和“上游”系列舰舰导弹，以及舰空导弹，空空导弹等；而有些型号则无批生产任务，如液体推进剂的弹道式导弹，固体推进剂的弹道式导弹，核潜艇和潜地导弹，卫星及其运载工具等；并注意研究这两种类型武器的科研、试制、试验、生产及其管理的经验各有什么不同的内涵、特点和规律。

根据这一考虑，钱学森归纳出在国防科研和国防工业系统有四种类型的科研、生产单位：（1）科研为主，试制出样机，直到定型；（2）科研为主，试制后继续生产，装备部队；（3）以大量生产为主，也有改进工作，如制导站；（4）科研及生产相结合的。

不管是批生产还是少量生产，都有一个定型的问题。关于定型问题，钱学森归纳有以下三种情况：

（1）新型号的研制到飞行试验完成后，要求定型委员会决定是否要投入批生产，即由科学实验转入生产阶段。这是个研制定型问题。

（2）研制定型后交批生产单位（工厂）投产，投产的先锋批，也还要到靶场检定，检定结果也要向定型委员会报告，请定型委员会决定是否可以开始大量生产，这是生产定型或称生产鉴定。如果设计上有修改，则先锋批打靶以后，也可叫设计定型，然后投入批生产，所以还是一个生产定型问题。

（3）以生产厂和使用部队为主，设计单位参加的“三结合”，对产品作了较多项目的改进，这也要在靶场进行多次飞行试验，然后要求定型委员会决定是否要投入成批生产。这又是一种生产定型，或称（生产）改进定型。三种情况似以第一种最慎重、最繁，而第二种最简单，第三种则居两者之间。

定型以后的试验工作怎么办？钱学森指出，试验发射队伍总有个逐步随研制工作的进展，转到新型号去的问题。而定型后的试验工作，如批次检验、贮存后的检验等，以工作量来说并不多，但又不能没有，所以还要保留少数技术人员。在这些工作中，使用部队的参与是必要的，可以使部队得到锻炼的机会，有利于部队技术人员的成长。

关于定型以后的生产问题，钱学森认为，如果一个型号研制成功以后，有比试制量大 10 倍的生产任务，那就要建立工业生产，属成批生产

问题了。这中间有些什么问题需要注意解决的？钱学森说，首先一个问题是如何尽可能地缩短转厂周期，使定型后的型号早日成批地生产并送到使用部队手里，这就是从试制到批生产的过渡问题。这有几个方面的工作要做好：批生产的工艺准备；图纸的成套及相应的技术资料；材料规格的提出；生产人员的必要培训；元件、器件等器材的供应、库存问题；设计中引用的批生产成品件和标准件问题；标准计量问题等。

其次是批生产中的质量、可靠性及产品改进等问题怎么保证？钱学森认为，质量、可靠性及产品改进都联系到总体，因此科学实验部门中的总体部还有工作。所以，即使投产了，总体班子也还不能拆散，工作到废型为止。对于批生产的质量，可以用批生产质量检验的一套办法，这和其他工业生产没有什么不同，只是要求更高更严罢了。当然，为保证产品的质量，对元件、器件的入厂检验要建立一套严格的制度。为了保证生产的质量，他认为工艺是一个重要问题，不能轻视，要有专人研究，不断改进。他还提出，导弹用地面车辆及设备的通用化、系列化工作，这是与导弹的批生产配套的，也体现批生产的特点，要有专门的人来抓。

关于战略武器的科研、试制、定型和少量生产问题，钱学森说，根据我们的经验，从预先研究开始，经过设计、试制、飞行试验、定型以至少量生产提供部队使用，以后也就不再生产，但可能还有一个时期的维修及修复工作。整个过程可能有七八年以至十年之久。这全部工作都是在一个研究院的管理下搞的。对“东风-2 号”，我们的经验、教训很多，一定要很好地总结。什么时间总结？太早了，定型后生产的一段经验可能还总结不出来；太晚了，人员队伍可能又散了，不能集中。所以要记住这件事，适时总结。

37 要保证部队会使用尖端武器

武器生产出来，要交付部队使用，使用中的问题也是钱学森很关注的。他说，我国幅员广大，地区气候差别也很大，如果武器系统要适应地

区情况，这就有一个地区的专门化问题，设备总要有些适应的措施。这就是说部队的区域化，即严寒部队、潮热部队、高原部队等，装备是不同的。这种局部改装工作，可以在生产厂生产时搞，也可以在维修时搞。由此也提出了武器要经过严寒试验和潮热试验的问题，并建设相应的实验设施。

尖端武器交给部队，如何培训部队人员成了一个大问题。为此，钱学森建议，使用部队对型号工作，要学试验基地的做法，从设计开始就派人到型号院一道工作，逐渐掌握情况。到飞行试验的时候就进入试验基地，从全弹试车开始，到合练，到打遥测弹。定型后回到部队的作战基地。在弹的抽检时，也要到试验基地承担任务。

当他发现"东风"型号在设计定型后，开始生产交付部队时，生产中的技术问题无人处理了，部队的同志对新型号又不熟悉。他立即要求七机部，不要过早把技术人员从一个型号队伍中调出来。过早调出来的结果是型号要交部队了，反而大撒手，无人管了。为了总结这一段的经验教训，解决这个问题，我们要考虑把定型时的设计人员保留下来，从总体到分系统，到关键部件。这个骨干队伍不能解散，也不许换人，必须是原来研制工作中最有经验的人。这个队伍加上使用部队发射团的同志，先组成一个新型号技术班子。由原来的人当老师，学习介绍经验。这个技术班子负责以下几项任务：（1）定型抽检飞行试验和部队训练飞行试验的技术参谋；（2）培训发射队伍；（3）负责批生产中的技术问题，当军代表。型号院的人到什么时候撤回？到型号的全部生产任务完成时撤回，或到部队能负责以上三条任务时撤回。估计这要有两年时间。

当他发现，部队有许多装备向七机部外的工厂去订货，因为是非标准的东西，所以订不到。但这些东西七机部的工厂实际上是可以生产的。所以他问：为什么七机部不能为部队服务呢？为什么不能放到七机部的工厂去生产呢？我们应该把七机部同使用部队的关系密切起来，即使不在一个单位，也要体现为一个目标服务的精神。

此外，他也提出了订货、验收、对接系统及经济结算之类的问题，并召集部队和七机部的人员开会，协调解决这些问题。他还强调，部队要的是整个武器系统，而现在往往地面设备跟不上，弹快而系统慢。之所以产生这个问题，是由于我们自己对成套交付部队的概念不够强的缘故，地面设备的工作要跟上。

总之，他强调，交付部队使用要特别强调质量和可靠性问题。这种战略性的导弹核武器，东西那么少，使用的机会又那么集中，所以一定要使部队平时非常熟练，对每一发弹的情况摸得很透，熟知其履历，以便区别对待，采取措施，保证发射成功。

38 质量与可靠性

钱学森认为，质量和可靠性问题对于弹道导弹、人造卫星及其运载火箭、核弹头等尖端技术尤其是一个非常重要的问题。当然这里面有一个教育群众，提高认识，确保质量和可靠性的问题。在此基础上，也要有专业的质量和可靠性队伍，进行质量和可靠性研究，制定质量及可靠性的标准和计划，提出组织上的措施和检查鉴定方法等。

怎么保证弹道导弹的质量？钱学森说，我们的经验是：

（1）设计的正确性。这是通过飞行试验来认定的。经过初次的飞行试验就算有了保证，定型之后就更有保证了。但必须注意，定了就不能再改动。

（2）关于元器件及外协件的质量，我们只能靠精选。

（3）生产工艺的正确性。主要靠人的责任感，再就是靠测试。在设计的正确性定了之后，主要就是这个问题了。

在质量和可靠性研究工作中要用数学。关于这个问题，钱学森说，这方面的工作似乎可以分成两大类型：一类是微分方程及偏微分方程的问题；一类是统计、概率等统计数学的问题。

微分及偏微分方程的问题是求解，而求解又可以分为两类问题，一类问题是理论的发展，看趋势的问题，这里最重要的是摄动法的理论，包括小参数的展开，PLK 方法等。

另一类问题是结合计算机，求精确数字解的问题。这里面也有两种方法：一种是“微观”的，或网络的，诸如差分法、特征线法。另一种则是

"宏观"的，或场的方法，诸如变分法等（在翼面理论中的马蹄涡线法也属此类）。

这些问题都宜结合具体课题来搞。所以数学人员要分散到各研究单位去，不宜成立什么专业的应用数学研究所。以前这方面的工作没有做好，要么脱离实际，空谈理论；要么只是解决一个个具体问题，而不注意从理论上加以总结。我们应该重视工作实践后的总结，每年开总结会（全国性的），提出理论性课题，并安排研究。

统计数学类型的方法有一个推广到广大设计人员及技术人员的问题。一般大家都知道一些"精确的"数学，知道用代数，用微积分。而一到统计数学就感到没有学过，有点神秘感。其实设计中的总体问题，以及可靠性指标等，日常用的统计数学就够了，这并不难学，有一个短期训练就行了。因此搞统计数学的同志要下到各个设计单位和工厂中去，一面帮助工作，一面开训练班。也可以从这里收集更加难解决的问题，集中到一个专业研究所专门研究解决。

当然，可靠性工作也会大量使用电子计算机。他说，现代电子计算机是一个非常有力的计算工具，加上"随机数序"，我们就可以用它来做概率性的计算，或者也可以称做计算的实验，从实验引出可靠性的结论。以前我们完全从理论出发，的确对复杂的连环套式的概率计算感到困难。这有点像习常的微分方程，有时一具体化，就感到求解、求解析解是困难的。但是如果不求解析解了，直接算数字，也许通过电子计算机，问题也可以解决。

在"两弹一星"工作中，钱学森始终都注意抓标准化问题，他说这是现代化大生产中不可缺少的一项重要工作。但标准化不同于别的问题，要强调统一抓。

国防科研生产中的标准化工作怎样组织？他说，标准化工作如果放到各工业部去做，就可能不完全统一，例如航空与导弹，航空与航天，电子与导弹、航空等。它们都有共同性，共同的最好标准一致。我们过去曾用苏联的一套，就各不相同。如果大家要求一致，那就是互相采用标准。但因部门不同，重复颁发标准，也做了不必要的劳动。因此最好是统一集中，由一个单位来抓。这个单位是国家科委？是国防工办？还是国防科委？

国家科委应该搞，但正如计量工作一样，国家科委全包下来也有困

难。国防工办系统虽然使用标准，但它是个机关，没有研究单位，不好做这件工作。所以还是放在国防科委为好。放在国防科委，也可以使科研设计单位重视标准化工作，便于投入批生产及保证质量。

为统一集中，加强研究，促进国防科学技术的发展，可以考虑把标准化单位同计量中心放在一起，形成计量及标准化中心。计量工作全国要有计量中心，各地区也要有计量站，形成全国的计量网，对使用的仪器随时进行校正维修。

在“两弹一星”工作中，钱学森也强调要重视理论工作，相信自然科学的规律。这不是理论脱离实际的问题，而是要用科学的理论，通过计算，形成一种判断，看出苗头，来帮助我们下决心。

他说，搞导弹的人，学工程的多，他们有一种倾向，即相信实物，通过实物的试验去解决一切设计问题，这也对。但问题是我们怎样才能更快更省地办这件事？一个办法就是学会理论计算。所以他在 1968 年 8 月 15 日指出，尖端的东西现在看来都包括了，还缺什么呢？缺的就是抽象的东西了，即应用数学。我们一定要提倡实验与计算相结合，充分发挥理论工作的威力！实验当然也包括实物或半实物的模拟试验。

根据这样的认识，他在 1968 年 6 月 17 日对地空导弹的定型工作作了充分的肯定。他说，现在可以说我们对地空导弹的定型工作有了一个飞跃，从只知道打靶试验，进入到既知道要打靶，也知道要做数学模型的模拟计算，又知道用地面局部飞行试验来解决引信的问题，还知道用半实物的模拟系统试验。这样就真能多快好省了。但也必须承认：我们还缺乏全面的实践经验，四个方面的实验如何配合得好，要大家来讨论研究。

搞理论计算要有工具，那就是大容量的高速电子计算机。钱学森对电子计算机和计算技术的前景在 1968 年 9 月 7 日进行了全面地论述，其中包括在国民经济中的应用。

他说，计算速度极大、贮存量极大的电子计算机正在进一步发展，在不远的将来，运算速度可以达到每秒一千万次，信息贮存也可以大大提高。另外模拟计算机也将同数字计算机的原理结合起来，开辟新的道路。模拟计算机自有其使用的方便，又有实时性的特点，因此对设计人员，特别是在搞初步设计，精度要求不太高时为然。但模拟机的精度有限，因为总脱不开元件本身在多变环境条件下的物理性能变化，即便在非线性及函数发生器电子化了之后，也是如此。

但型号设计中有一个用全部数学模拟打靶的阶段，这用高速的数字计算机最好。因为是全部数学模拟，所以也不必是实时计算，这样精度高，随机因素可以引用随机数法来解决。这种打靶是设计阶段后的重要手段，用来检验设计方案，试验新方案，探索新途径。

所有这些发展都将进一步促进电子计算机在以下几个领域中的应用：①工业生产过程自动化中的控制机；②复杂武器系统中的控制机。但是我们必须在其他的方面，对如何充分发挥电子计算机的作用做些工作。这些方面的可能应用是：

(1) 规划及计划经济、生产经济技术中的应用。即长远规划的平衡，多种方案的比较，年度计划的平衡，企业库存的核算、平衡，统计工作(运筹学)，日常工、农业的调度。这就是要把近代数学及计算技术作为国民经济管理的一个有用工具，我们不能用中世纪的工具来搞 20 世纪的经济活动。

(2) 信息处理技术中的应用。包括情报资料的分类、归档、贮存、提取、自动化翻译及自动化情报监视系统。

(3) 基础科学研究中的应用。中国科学院基础科学研究中的复杂计算，如基本粒子的研究，宇宙演化的研究等。

(4) 工程设计中的应用。包括：方案选择，设计工作中的详细计算，气动力学计算，核爆炸的计算，分子性能及宏观性质的计算等。

为了执行这方面的任务，我们必须开展计算机的科研、试制，计算机的生产，以及使用维修，计算人员的培训，计算数学的研究，经验交流等工作。

39 尖端技术要为国民经济服务

钱学森很早就注意到尖端技术如何为国民经济服务，推动和促进国民经济发展的问题。他在 1969 年 9 月 30 日曾形象地指出；尖端技术犹如一座宝塔的尖，其成果要向宝塔的下层扩散，下面是哪些层次？他指出，第

一是航空工业，包括民用航空工业；第二是常规武器；第三是大型基础工业，如发电及电力、铁路、轮船、钢铁、水泥、化工等部门；第四是轻工业、教育、商业、医疗、住房、农业等。我们必须有计划地推动这个扩散。第一项、第二项比较好办，都是国防科学技术，容易扩散。需要努力的可能是第三项，即走出国防工业的大门。这件事要狠抓才行。

接着他又指出，我们的尖端促进了哪些民用技术的发展呢？

(1) 发展了各种新材料，如新型合金、复合材料、塑料工业等。

(2) 发展了各种产品，如小电机、微电机、仪器等。

(3) 发展了电子基础工业及计算机工业。

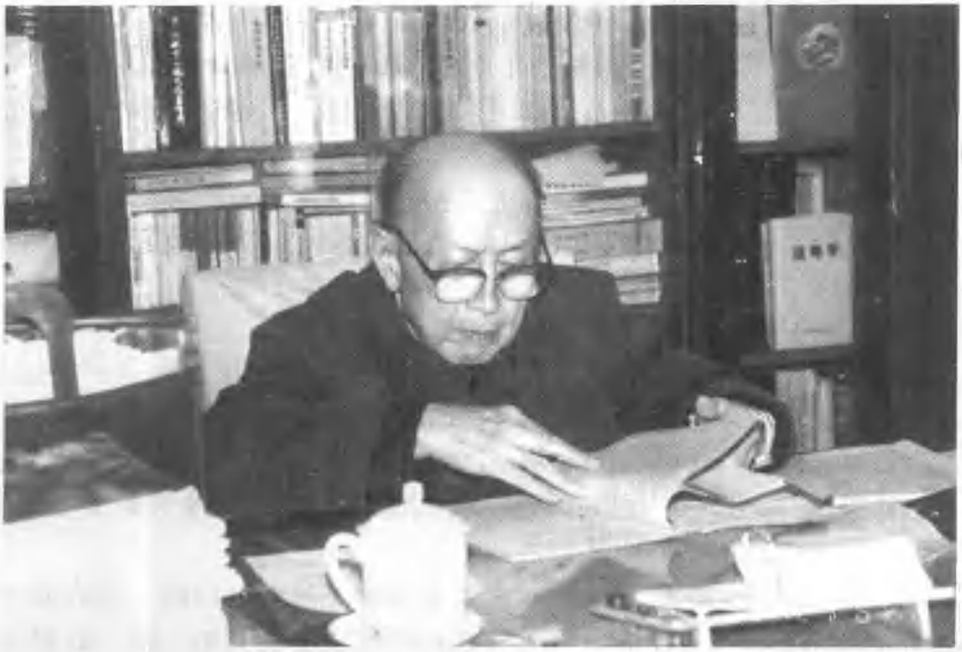
(4) 发展了一些高新技术，如遥测遥控技术，用于工业生产自动化；燃烧过程的强化技术，用于磁流体发电等。

(5) 大大地促进了地区工业产品的配套程度，促进了地区工业的现代化。这就提出一个地区的规划问题，我们必须了解一个地区的工业情况，也必须有意地去培植一个地区的各种工业。

同时他还提出，在核技术方面，要考虑原子能发电问题，研究原子能发电同火力发电、水力发电、风力发电和潮汐发电的关系。推广放射性同位素的应用。

钱学森后来也提出，对军工企业来说，有一个“军民结合”的问题；而对民用工业部门来说，也有个“民军结合”的问题，如机械工业要生产高精尖的机械设备，电子工业要生产尖端武器中的电子产品，冶金、化工、建材部门要生产尖端的材料，等等。总之，民用工业要为尖端服务，而尖端也要为民用工业服务，并带动民用工业的发展。

此外，钱学森对与“两弹一星”关系密切的航空和空军武器技术，舰船和海军武器技术，无线电、雷达技术，电子技术，激光和光电技术，光学和光学技术，中国科学院的基础研究及应用研究，教育及人才培养等众多领域，都有许多精辟的论述，对推动这些领域的发展曾发挥了重要作用。



耄耋之年的钱学森仍孜孜不倦地工作

第十五章

晚年的学术成就

进入20世纪80年代以后，由于年龄关系，钱学森辞去了国防科研一线领导职务。这时他的科学思想更加活跃，驰骋在整个自然科学领域。同时他对社会科学也产生了极大兴趣。他深入学习和研究了马克思主义哲学，并以马克思主义哲学指导自己的研究工作，在自然科学与社会科学的结合点上，做出了许多开创性贡献。他在这一时期的学术贡献包括系统工程和系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学等。

40 系统工程和系统科学

钱学森的系统工程思想源于航天系统工程。这可以追溯到20世纪40年代。在40年代，喷气推进实验室通过研究火箭助推飞机起飞装置开始，逐步从加州理工学院的一个工程研究小组演化成为航天工程研究组织。钱学森运用并发展了他在喷气推进工作中获得的经验，从50年代后期中国航天计划开始实施的时候起，他就和广大干部、科技人员在周恩来和聂荣臻领导下，把当时苏联航空技术发展中的总体设计部和我国行政组织管理的实际结合起来，这也就是今天称为航天系统工程的组织管理。它包括：

(1) 由总体设计部对航天工程进行科学的技术管理（又称技术协调）。总体设计部由熟悉大系统各方面专业的技术人员组成，在总设计师的领导下，根据任务的要求，用系统分析的方法进行大系统指标论证、总体方案（包括技术途径、经济性和可行性）论证、流程设计和系统环境分析，选择总体参数，以确定系统体系结构的组成、功能；从整个大系统的要求出发，提出各组成系统的设计参数和技术要求，将各组成系统结合成一个有机的整体，进行系统试验和系统使用方法的总体设计，提出各种试验和使用设施的技术要求，或对现有试验和使用设施提出采用或改造的建议。

(2) 在整个航天系统工程实施过程中，采用建模与仿真技术。包括数字仿真和半实物仿真，以实现系统方案的整体优化、系统功能和结构的协调一致。

(3) 计划管理机关用管理信息系统对航天工程实行科学的计划管理。这种有电子计算机的信息系统能够形成一个高效的数据库，不断将各项工作的历史情况和最新进度显示出来，对经常变动的计划进展情况进行快速处理，使计划管理人员及时掌握整体计划的全面动态，发现薄弱环节，对拟采取的计划协调措施用网络模型和电子计算机进行模拟，预测措施的效果，为决策提供依据，选择人力、物力和财力的最佳调度方案。航天系统的总体设计机构和计划管理机关，形成航天工程计划领导人的参谋机构的整体，前者是航天工程系统总体概念、总体方案、总体设计技术协调措施科学性的体现者，后者是航天工程系统计划协调措施中科学性和人、财、物调度权力的体现者。

钱学森不仅将我国航天系统工程的实践提炼成航天系统工程理论，并且在 80 年代初期提出国民经济建设总体设计部的概念，还坚持致力于将航天系统工程概念推广应用到整个国家和国民经济建设中，并从社会形态和开放复杂巨系统的高度，论述了社会系统。任何一个社会的社会形态都有三个侧面：经济的社会形态、政治的社会形态和意识的社会形态。钱学森从而提出把社会系统划分为社会经济系统、社会政治系统和社会意识系统三个组成部分。相应于三种社会形态应有三种文明建设，即物质文明建设（经济形态）、政治文明建设（政治形态）和精神文明建设（意识形态）。社会主义文明建设应是这三种文明建设的协调发展。从实践角度来看，保证这三种建设协调发展的就是社会系统工程。从改革和开放的现实来看，不仅需要经济系统工程，更需要社会系统工程。

钱学森对系统科学工作的思考和研究可以追溯到 1955 年。这一年秋天，钱学森和许国志一同把运筹学的“种子”从它的发源地美国带回了祖国。1956 年，钱学森创建了我国第一个运筹学研究组，并把这个研究组作为他负责组建的中国科学院力学研究所的组成部分。钱学森和许国志通过这个研究组将运筹学运用在我国国防建设和社会主义经济建设之中。作为一个有远见的科学家，他在当时已预见到运筹学不单要研究现有武器装备的运用，而且更要研究未来武器装备的规划与运用。因此，他在国防部第五研究院创建了我国第一个军事运筹学研究机构——“作战研究处”，开辟了运筹学面向我国武器装备规划、论证的一个发展方向。这可以说是我国国防系统分析研究工作的起源。

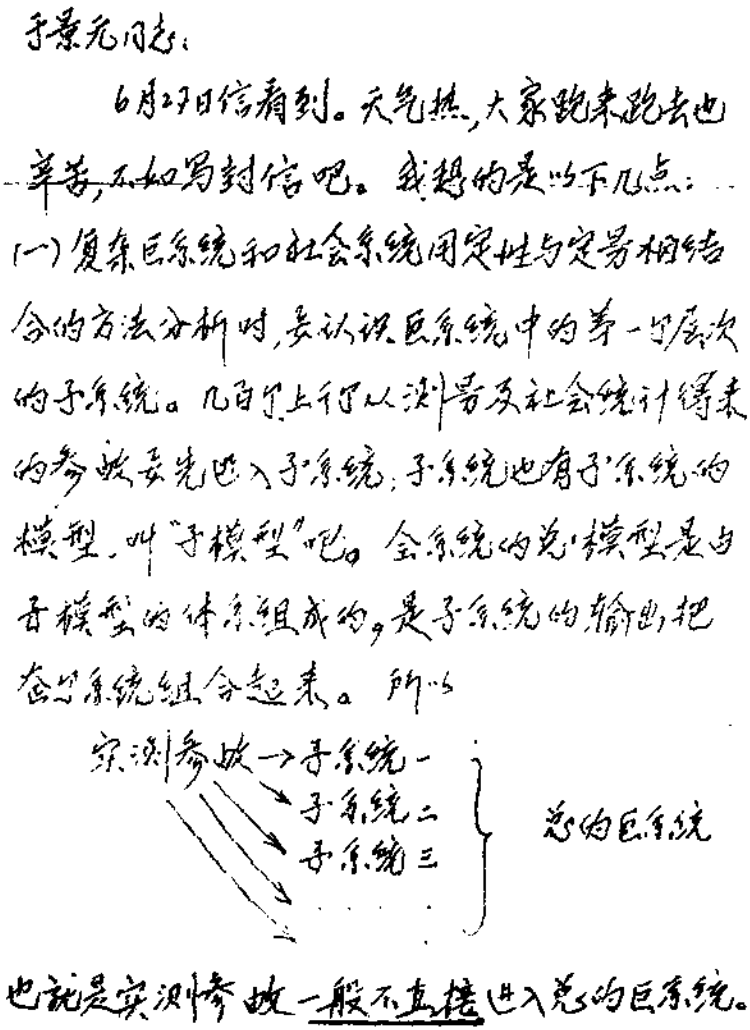
从 1978 年春天开始，钱学森为促进运筹学、系统工程、系统分析在

我国的发展，先后在北京、成都、昆明、长沙发表了一系列学术讲演。这些讲演的主要见解，后来集中表达在1978年9月27日《文汇报》上公开发表的论文《组织管理的技术——系统工程》中。这篇论文对运筹学、系统工程和系统分析科学活动在中国的繁荣，产生了十分积极的影响。1979年7月24日，钱学森应邀在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上向数千名听众发表了与王寿云、柴本良合写的题为《军事系统工程》的长篇讲演，把计算机作战模拟技术推荐给中国人民解放军。他指出："战术模拟技术，实质上提供了一个'作战实验室'，在这个实验室里，利用模拟的作战环境，可以进行策略和计划的实验，可以检验策略和计划的缺陷，可以预测策略和计划的效果，可以评估武器系统的效能，可以启发新的作战思想"。"在模拟的可控制的作战条件下进行作战实验，能够对有关兵力与武器装备使用之间的复杂关系获得数量上的深刻了解。作战实验，是军事科学研究方法划时代的革新"。钱学森的这篇讲演，对国防系统分析在我国的发展产生了很大的推动作用。

1979年10月，钱学森在北京主持召开了"北京系统工程学术讨论会"。这次会议促成了中国系统工程学会及其所属专门从事国防系统分析研究的群众性学术团体——军事系统工程专业委员会于1980年正式成立。钱学森等著的《论系统工程》在1982年11月出版，增订版在1988年10月出版。

有了系统分析、系统工程、控制论、运筹学和作战模拟，从现代科学技术体系的认识考虑，系统科学的概念就形成了。

钱学森对系统科学最重要的贡献，是他发展了系统学和开放的复杂巨系统的方法论。钱学森对这一问题的兴趣起源于80年代初对军事对阵模拟的研究。1981年5月25日，他在与方福康的通信中说："40年前，J·冯·诺伊曼（Von Neumann）同O·莫根施特恩（Morgenstern）建立了博弈论，后来因为计算理论太繁，实际应用时，往往用Monte-Carlo数值法上电子计算机，求得结果。近来，在计算机下棋和简单的军事战斗集体（如排对排）的行动已经实现了。但如何把理论用于结构复杂、成员众多的对阵集团，问题太复杂，就连电子计算机也不行了。这是军事系统工程中的一个大问题，也是微观经济过渡到宏观经济的根本问题。能不能把博弈论和系统学结合起来，以解决此难题？"



于景元同志：

6月27日信看到。天气热，大家跑来跑去也辛苦，不如写封信吧。我想的是以下几点：

（一）复杂巨系统和社会系统用定性与定量相结合的方法分析时，要认识巨系统中的第一个层次的子系统。几百个上千个从测量及社会统计得来的参数要先进入子系统；子系统也有子系统的模型，叫"子模型"吧。全系统的总模型是由子模型的体系组成的，是子系统的输出把各子系统组合起来。所以

也就是实测参数一般不直接进入总的巨系统。

1988年7月4日钱学森就系统学问题给于景元的信（之一）

(二)其实你们过去就是这么做的，大模型不是分好多块吗？每一块就是一个子系统。这样很~~显然，子系统也是客观的~~，如社会系统中的"社会行为"子系统，就是全体人民所造成的，不是那一个人。

(三) Forrester 的系统动力学方法把我们这里说的子系统作为一个参量，（即我们子系统的输出），这个参量怎么确定呢？教授先生只能靠拍脑瓜儿，他没有子系统模型，也没有去利用实测大量数据。最后只有唯心了！

我们以上阐述，是指出系统动力学的缺点，提高了我们对复杂巨系统和社会系统理论的认识。

(四) 6月22日信中送去的两份材料，我只想提供

1988年7月4日钱学森就系统学问题给于景元的信（之二）

建立社会行为子系统的一点线索。我以为这个子系统在社会系统中是重要的，但以前这方面工作~~做得很不够。沙莲香的社会心理学对建立~~社会行为子系统的模型一定有帮助，但还不是建立社会行为子系统工作的本身

我一点没有要想把附上的材料作为代替你们工作的意见，他讲的是局部、子系统，不是全局。

请你们认真考虑以上四点，有何意见，待9月中旬后再面谈。

此致

敬礼！

钱学森

1988.7.4

又：您参加了中国决策科学研究会吗？

1988年7月4日钱学森就系统学问题给于景元的信（之三）

从 1981 年夏天到 1982 年 10 月，在为指导王寿云编著《现代作战模拟》一书而进行的几次讨论中，钱学森从 F·W·兰彻斯特（Lanchester）的工作中提炼出半经验半理论的处理复杂对阵问题的方法论。在后来的研究工作中，钱学森赋予这一方法论更广泛的含义：处理复杂行为系统的定量方法学，是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学，是半经验半理论的。提出经验性假设（猜想和判断），是建立复杂行为系统数学模型的出发点。这些经验性假设（猜想或判断）不能用严谨的科学方式证明，但需用经验性数据对其确实性进行检测。从经验性假设（猜想或判断）出发，通过定量方法途径获得的结论，仍然具有半经验、半理论的属性。当人们寻求用定量方法学处理复杂行为系统时，容易注重于数学模型的逻辑处理，而忽视数学模型微妙的经验含义或解释。要知道，这样的数学模型看来“理论性”很强，其实不免牵强附会，从而脱离真实。与其如此，反不如从建模一开始就老老实实承认理论的不足，而求援于经验判断，让定性的方法与定量的方法结合起来，最后定量。这样的系统建模方法是建模者判断力的增强与扩充，是很重要的。

钱学森并没有把研究工作停止在这一水平上，他同于景元、戴汝为合作，深入到一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论。开放的复杂巨系统目标还没有形成从微观到宏观的理论，没有从子系统相互作用出发，构筑出来的统计力学理论。那么有没有研究方法呢？有些人想得比较简单，硬要把处理简单系统或简单巨系统的方法用来处理开放的复杂巨系统。他们没有看到这些理论方法的局限性和应用范围，生搬硬套，结果适得其反。例如，运筹学中的对策论，就其理论框架而言，是研究社会系统的很好工具，但对策论今天所达到的水平和取得的成就，远不能处理社会系统的复杂问题，原因在于对策论中已把人的社会性、复杂性，人的心理和行为的不确定性过于简化了，以至于把复杂巨系统问题变成了简单巨系统或简单系统的问题了。同样，把系统动力学、自组织理论用到开放的复杂巨系统研究之中，之所以不能成功，其原因也在于此。系统动力学创始人 J·福雷斯特（Forrester）就提出，对他的方法要慎重，要研究模型的可信度。钱学森在 1989 年指出，实践已经证明，现在能用的、惟一能有效处理开放的复杂巨系统（包括社会系统）的方法，就是从定性到定量的综合集成方法，这个方法是在复杂巨系统研究实践的基础上，提炼、概括和抽象出来的。除去复杂军事对阵系统外，各类复杂巨系统的研究实践还包

括：

（1）在社会系统中，由几百个或上千个变量所描述的定性定量相结合的系统工程技术对社会经济系统的研究和应用。

（2）在人体系统中，把生理学、心理学、西医学、传统医学以及气功、人体特异功能等综合起来的研究。

（3）在地理系统中，用生态系统和环境保护以及区域规划等进行综合探讨的地理科学。

在这些研究和应用中，通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合，提出经验性假设（判断或猜想）；而这些经验性假设不能用严谨的科学方式加以证明，往往是定性的认识，但可用经验性数据和资料，以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测；而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上，经过定量计算，通过反复对比，最后形成结论；这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论，是从定性上升到定量的认识。从定性到定量的综合集成法，就其实质而言，是将专家群体（包括各种有关专家）、数据和各种信息与计算机技术有机地结合起来，把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来。这个方法应用的成功，就在于发挥了这个系统的整体优势和综合优势。近几年，国外有人提出综合分析方法（meta-analysis），对不同领域的信息进行跨域分析综合，但还不成熟，方法也太简单。而从定性到定量的综合集成法却是真正的综合分析方法。

钱学森在1992年进而提出了从定性到定量的综合集成法的应用形式，即用计算机信息系统构成的综合集成研讨厅。他还将这种综合集成工程提炼成大成智慧工程，并进而上升到大成智慧学。

41 思维科学和人体科学

20世纪80年代，人工智能已成为国际上的一大热门，但学术思想却处于混乱状态。在这样的背景下，钱学森站在科技发展的前沿，提出创建

思维科学（noetic science）这一科学技术部门，比较突出的贡献为：

1. 钱学森在80年代初提出创建思维科学技术部门，认为思维科学是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的科学，是现代科学技术的一个大部门。推动思维科学研究的是计算机技术革命的需要。钱学森把思维科学划分为思维科学的基础科学、思维科学的技术科学及思维科学的工程技术三个层次。思维科学的基础科学是研究人有意识的思维规律的学问，称为思维学。思维学又可细分为四个部分：

(1) 抽象（逻辑）思维学。抽象思维是可以用计算机来代替人脑工作的那部分思维。

(2) 形象（直感）思维学。形象思维建立在经验或直感的基础上，主要研究人类根据经验或直感产生智能的行为，以及如何用计算机实现这一过程，并使之上升为理论。

(3) 灵感（顿悟）思维学。灵感思维是形象思维的扩展，由直感的显意识扩展到灵感的潜意识。

(4) 社会思维学。研究人作为一个集体的思维，以及如何利用人类过去积累的知识。思维活动，实际上具有集体性质。人类认识客观世界不但靠实践，而且要利用过去人类创造出来的精神财富。

另外信息对认识过程有非常重要的意义，研究信息和信息过程的信息学，也是思维科学的基础科学之一。在技术科学这一层次，包括结构语言学和数理语言学、模式识别、情报学和科学方法论等。科学技术工作决不能局限于抽象思维的归纳推理，即所谓的科学方法，而必须兼用形象或直感思维，甚至要得助于灵感或顿悟思维，所以他后来又把形象思维和灵感思维提炼为创造性思维，属宏观思维，而逻辑思维则属微观思维。思维科学中直接改造客观世界的学问属于工程技术层次，如人工智能、计算机软件工程、密码技术、情报资料库技术、文字学和计算机模拟技术以及其他。钱学森提出，认知心理学就是上升到精神（mentalis）也还是人体科学基础学科层次，属人体科学大部门，而思维学属思维科学大部门。研究意识，研究人的思维，一条路是研究脑，走脑科学的道路。这条路非常长，短时间内不会有结果。另一条是走思维科学的道路，依靠思维科学内部的一些方法来研究。

2. 钱学森主张发展思维科学要同人工智能、智能计算机的工作结合起来。他以自己亲身参与应用力学发展的深刻体会，指明研究人工智能、

智能计算机应以应用力学为借鉴，走理论联系实际，实际要理论指导的道路。人工智能的理论基础就是思维科学中的基础科学思维学。研究思维学的途径是从哲学的成果中去寻找，思维学实际上是从哲学中演化出来的。他还认为形象思维学的建立是当前思维科学研究的突破口，也是人工智能、智能计算机的核心问题。

3. 钱学森把系统科学方法应用到思维科学的研究中，提出思维的系统观，即首先以逻辑单元思维过程为微观基础，逐步构筑单一思维类型的一阶思维系统，也就是构筑抽象思维、形象（直感）思维、社会思维以及特异思维（灵感思维）等；其次是解决二阶思维开放大系统的课题；最后是决策咨询高阶思维开放巨系统。

钱学森是中国人体科学的倡导者。20 世纪 70 年代末，当人体特异功能是真是假，科学工作者及社会各阶层还众说纷纭的时候，钱学森支持一些热心的科学工作者，对捕捉到的现象进行科学的核实和实验，严谨地进行科学检验。在取得大量和可靠的科学实验数据资料之后，他认为：人类对自身的认识远没有完成，人体可能存在着特殊的功能、潜力，尽管这些现象用现代科学知识还不能解释清楚，但必须进行科学研究。1980 年，他提出人体科学的概念：人体科学的研究范围是研究人体的功能，如何保护人体的功能，并进一步发展人体潜在的功能，发挥人的潜力。人体科学的基础科学，除包括人体生理、解剖、心理等基础科学外，还包括对祖国医学理论特别是对气功的科学研究；人体科学的技术科学包括：人-机工程和体育科学技术，如武术、杂技等；人体科学的应用技术，包括医学临床各科，如内、外科学，五官科学和职业病学等。人天观是人体科学通往马克思主义哲学的桥梁，也对进一步发展人体科学起到指导作用，而人体科学的进一步发展又会更加充实和深化人天观，更加充实和深化马克思主义哲学。

钱学森提出用“人体功能态”理论来描述人体这一开放的复杂巨系统，研究系统的结构、功能和行为。他认为气功、特异功能是一种功能态，这样就把气功、特异功能、中医系统理论的研究置于先进的科学框架之内，对气功、特异功能的研究起了重大作用。在钱学森指导下，北京航天医学工程研究所的研究人员于 1984 年开始对人体功能态进行研究，他们利用多维数据分析的方法，把对人体所测得的多项生理指标变量，综合成可以代表人体整个系统的变化点，以及它在各变量组成的多维相空间中

的位置，从运动到相对稳定，即目标点、目标环的位置。他们发现了人体的醒觉、睡眠、警觉和气功等功能态的各自的目标点和目标环。这样，就把系统科学的理论在人体系统上体现出来了，开始使人体科学研究有了客观指标和科学理论。

42 科学技术体系与马克思主义哲学

钱学森认为，马克思主义哲学是人类对客观世界认识的最高概括，也是现代科学技术（包括科学的社会科学）的最高概括，它的核心是辩证唯物主义；而历史唯物主义、自然辩证法、认识论与辩证唯物主义不在同一个层次上，前三者与后者不是并列关系。具体地说：辩证唯物主义的崇高地位及其概括性是由于它反映了自然界、人类社会和思维发展的普遍规律，也就是反映了所有科学的普遍而共同的规律。因此，全部科学、理论都应坚持以马克思主义哲学为指导，不能违背马克思主义哲学的基本原理，这就是马克思主义哲学应具备的高度概括性。同时，又不能把马克思主义哲学作为万古不变的教条，要不断以各门具体科学的成果来丰富、完善、发展马克思主义哲学，甚至凡是人类通过实践不断积累起来的一切知识性、经验性，还不系统、不成其为科学或称“前科学”的大量零金碎玉，以及现代科学技术体系以外的所有知识，都要随时注意与之交流，予以整理、鉴别、提炼、吸收进来，充实马克思主义哲学体系。这就是马克思主义哲学应具备的不断生长的开放性。钱学森关于马克思主义哲学更具概括性与开放性的观点，扩展与深化了马克思主义哲学的基本特征，使之更具有无限生命力。

基于对马克思主义哲学基本特征的如此理解，以及对于世界科学技术发展现状的研究，钱学森自 1978 年以来，运用系统科学的观点与方法，逐步形成了一个现代科学技术体系与马克思主义哲学的整体构想。他将整个体系从纵向分为三个层次，最高层次是马克思主义哲学，也就是辩证唯

物主义，最下面的层次是现代科学技术十一大部门，其间通过十一架“桥梁”把马克思主义哲学与十一大科学技术部门联在一起。从横向来看，十一大科学技术部门是：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、文艺理论、军事科学、行为科学、地理科学、建筑科学等。其中每一个科学技术部门又按照是直接改造客观世界，还是比较间接地联系改造世界的原则，划分为基础科学、技术科学和工程技术三个层次(文艺理论目前看来只在一个基础理论层次)。与十一大科学技术部门相对应，过渡到马克思主义哲学的“桥梁”是自然辩证法、历史唯物主义、数学哲学、系统论、认识论、人天观、美学、军事哲学、社会论、地理哲学等；这十一架“桥梁”分别概括了十一大科学技术部门中带有普遍性、原则性、规律性的东西，即各门科学技术的哲学；因此，也可以把它们共同作为马克思主义哲学的内容和基石。

按照钱学森的观点，在现代科学技术十一大部门之外，尚有未形成科学体系的实践经验的知识库，以及广泛的、大量成文或不成文的实际感受，如局部的经验、专家的判断、行家的手艺、文艺人的艺术、中医医药学等等，也都是人类对世界认识的珍宝，它们与科学技术体系和马克思主义哲学密切相关，不可忽视，亦应逐步纳入体系。

钱学森将当代科学技术发展状况，归纳为十一个紧密相连的科学技术部门。这十一大科学技术部门的划分方法，正是钱学森运用马克思主义哲学，特别是系统论对科学分类方法的又一创新。他提出，这十一大科学技术部门的划分不在于各学科研究对象之不同，而在于它研究问题或看问题的角度不同；它们的研究对象都是统一的，即整个客观世界（包括自然的和人造的），人也是客观世界的一部分。自然科学是从物质在时空中的运动、物质运动的不同层次、不同层次的相互关系这个角度研究整个客观世界。社会科学是从人类社会的发展运动，即从人类社会内部的运动以及客观世界对人类社会发展运动的影响这个角度研究整个客观世界。数学科学是从质和量的对立统一、质和量互变的角度去研究整个客观世界。其他如文艺理论是文学艺术的理论，而文学艺术也是面对整个客观世界的。军事科学的研究已不限于战争，而是从矛盾斗争的角度去研究整个客观世界，包括“科技战”、“智力战”、“商战”等。行为科学是从个人与社会的相互作用这个角度去研究整个客观世界的，现在人的活动不但要考虑整个地球，而且已经深人到地下，上升到天上以至太阳系……所以人类社会也涉



1989年钱学森获“小罗克韦尔奖章”（张桐胜拍摄）

及整个客观世界。地理科学是研究人类社会赖以生存的环境，它是从地球与人类社会、与宇宙天体的相互联系、相互作用中研究整个客观世界的。

钱学森从 1986~1991 年曾担任中国科协第三届主席。他对中国科协的工作也曾做出重要贡献。首先在 1979 年，他主动找周培源谈话，提出“文化大革命”已经结束，党中央正在致力于恢复和发展社会主义建设的各项事业，中国科协的活动也应尽快恢复。他说，现在社会主义建设的各个部门都是纵向的垂直领导关系，这有利于加强党对各项事业的领导。但也有一个缺点，即缺乏横向的、各部门、各领域之间的交流。这种横向的交流对科学事业的发展尤为重要。中国科协正好可以发挥这种横向的各学科之间的联系和交流作用。

在他的积极建议和推动下，一批著名的老科学家向中央提出建议，恢复中国科协的活动。此建议很快得到批准。经过一年多的筹备，中国科协的各个学会都恢复了活动，并选出代表，在 1980 年召开了中国科学技术协会第二届全国代表大会，选举产生了全国委员会，周培源当选为第二届中国科协主席，钱学森是副主席之一。

1986 年中国科协换届，钱学森被选为第三届主席。他在担任科协主席期间，配合国家社会主义改革的进程，大抓了中国科协的改革问题，如各学会实行会员制等，并在 1990 年给中央写信，恢复了中国科协在全国政协团体会员的资格。1991 年中国科协换届，钱学森被选为中国科协名

誉主席。

钱学森在1986~1998年担任第六、七、八届全国政协副主席。他在政协负责科学技术委员会的工作，在团结广大科技工作者进行政治协商、民主监督和参政议政方面发挥了重要作用。

43 人民科学家



1991年钱学森获"国家杰出贡献科学家"荣誉称号和一级英模奖章。　（左边是夫人蒋英教授　邹毅拍摄）

由于钱学森对我国"两弹一星"事业和整个科学技术事业所做出的重大贡献，他在1985年获国家科技进步奖特等奖；1991年被国务院、中央军委授予"国家杰出贡献科学家"荣誉称号和一级英模奖章；1994年获香港"何梁何利基金优秀奖"（奖金100万港元。他将这笔奖金捐赠给促进沙产业发展基金）；1999年被中共中央、国务院、中央军委授予"两弹一星功勋奖章"；2001年获霍英东奖金委员会颁发的"霍英东杰出奖"（奖金100万港元，他又将这笔奖金捐给了促进沙产业发展基金和钱学森

草产业奖励基金)。1989年国际技术与技术交流大会授予钱学森“小罗克韦尔奖章”和“世界级科学与工程名人”、“国际理工研究所名誉成员”的称号；2001年国际小行星中心和国际小行星命名委员会将中国科学院紫金山天文台发现的国际编号为3763号的小行星命名为“钱学森星”。

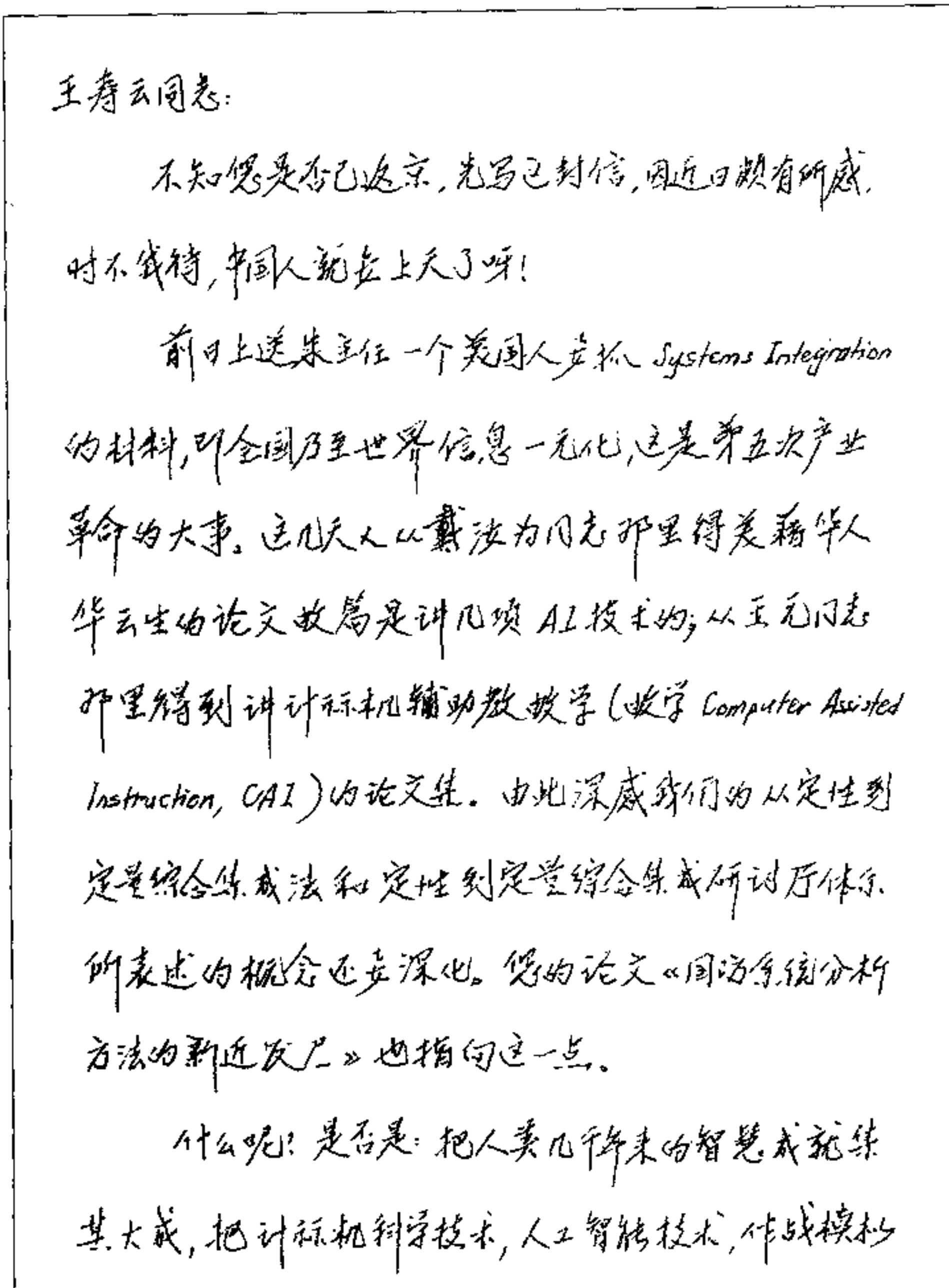
人们一般喜欢称他为中国的“导弹之父”或“航天之父”，但是钱学森本人不同意这样的称呼。他说，导弹航天是一项大规模的科学技术事业，一两个人是无法搞成功的，其成就首先要归功于党，归功于集体。而他只是恰逢其时，做了他该做的事情。如果不是组织上规定的任务，在一般情况下，他也不同意为他写传。说他自己没有工夫回忆过去，以往的事，过去就算了。历史自有公论，任凭后人评说。他只考虑未来，关心祖国未来科技事业的发展。

鉴于钱学森对我国科学技术事业的巨大贡献，他的爱国主义情操，他对党的事业的忠诚，对祖国、对人民的无私奉献，2001年10月，江泽民总书记在一个重要批示中提出：“我们应该向人民科学家钱学森同志学习。”纵观钱老的一生，他获此殊荣是当之无愧的。



2001年12月11日江泽民主席看望90华诞的钱学森和蒋英教授

(王庆新拍摄)



王寿云同志：

不知您是否已返京，先写这封信，因近日颇有所感，时不我待，中国人就要上天了呀！

前日上送朱主任一个美国人关于 Systems Integration 的材料，即全国乃至世界信息一元化，这是第五次产业革命的大事。这几天又从戴汝为同志那里得美籍华人华云生的论文数篇是讲几项 AI 技术的；从王元同志那里得到讲计算机辅助教学（教学 Computer Assisted Instruction, CAI）的论文集。由此深感我们的从定性到定量综合集成法和定性到定量综合集成研讨厅体系所表述的概念还要深化。您的论文《国防系统分析方法的新进展》也指向这一点。

什么呢？是否是：把人类几千年来的智慧成就集其大成，把计算机科学技术，人工智能技术，作战模拟

1992年8月27日钱学森就大成智慧问题给王寿云的信（之一）

技术，思维科学，学术交流经验，加上马克思主义哲学，合成为"大成智慧工程，Metasynthetic Engineering"。用这样一个词是吸取了中国传统文化的精华的，有中国味。

我想"大成智慧工程"的领导核心就是"第五次产业革命"的五员大将：您为主帅，于景元同志抓联系实际问题的这一核心，戴汝为同志负责吸取人工智能成就这一重要工作，汪成为同志负责软、硬件的组织工作，钱学敏大姐负责哲学方面的概念深化与提高。行不行？请你们商量。你们和我的联系人仍为涂元季同志。

最后，事关中国社会主义建设大业，领导怎样抓？请朱主任提出，请国防科工委领导酌定。大事啊！

此致

敬礼！

附文件二。"大成"释。

钱学森

1992.8.27

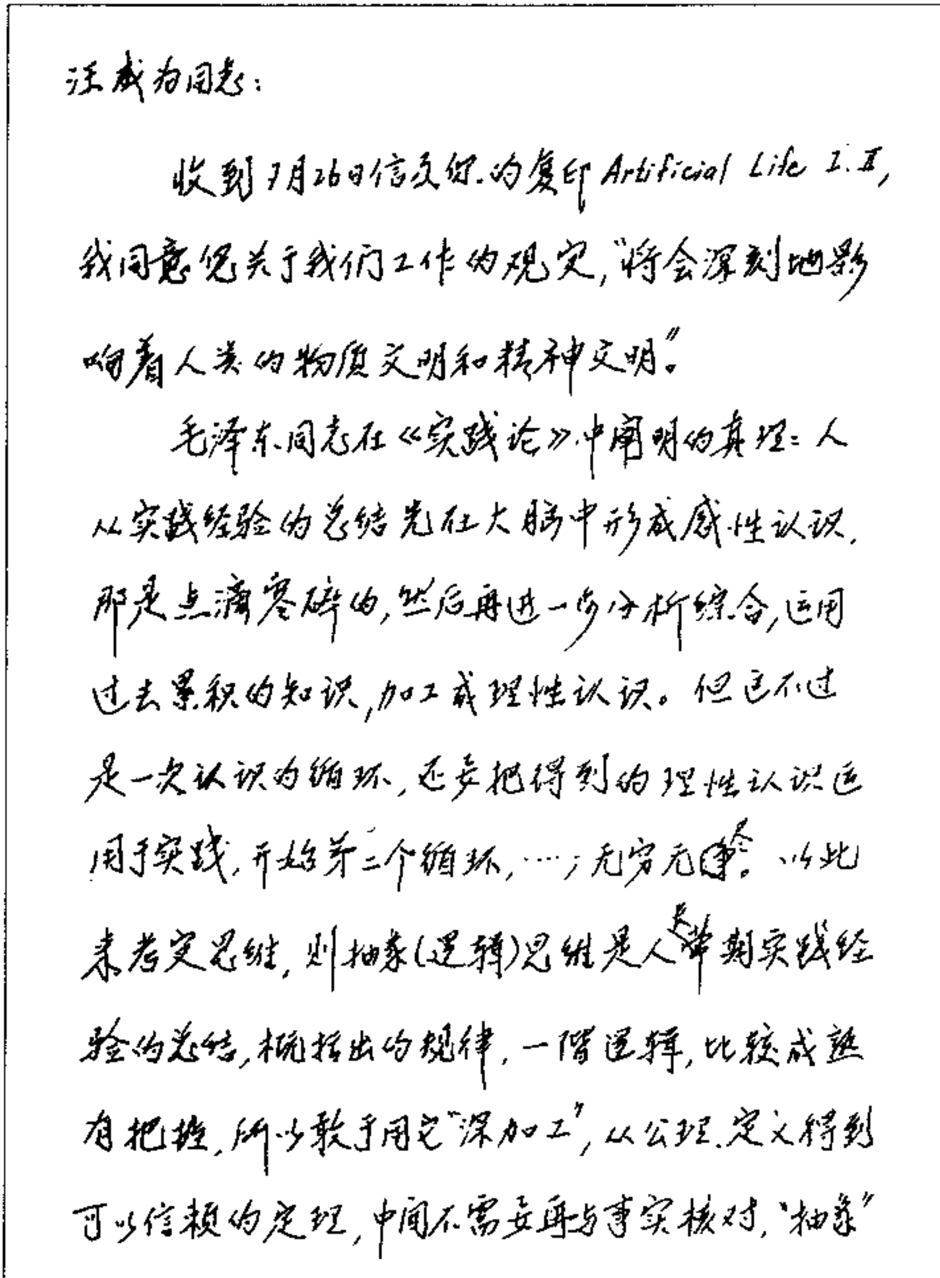
1992年8月27日钱学森就大成智慧问题给王寿云的信（之二）

《辞海》释"大成"：

(1) 大的成就。1.指事功。《诗·小雅·车攻》："允矣君子，展也大成。" 2.指学问。《礼记·学记》："九年知类通达，强立而不反，谓之大成。" 3.指道德。《孟子·万章下》："孔子之谓集大成：集大成也者，金声而玉振之也。" 赵岐注："孔子集先圣之大道，以成己之圣德者也。"

(2) 完备。《老子》："大成若缺，其用不弊。"

1992年8月27日钱学森就大成智慧问题给王寿云的信（之三）



汪成为同志：

收到7月26日信及您的复印Artificial Life I.II，我同意您关于我们工作的观点，"将会深刻地影响着人类的物质文明和精神文明"。

毛泽东同志在《实践论》中阐明的真理：人从实践经验的总结先在大脑中形成感性认识，那是点滴零碎的，然后再进一步分析综合，运用过去累积的知识，加工成理性认识。但这不过是一次认识的循环，还要把得到的理性认识运用于实践，开始第二个循环，……，无穷无尽。以此来考察思维，则抽象（逻辑）思维是人长期实践经验的总结，概括出的规律，一阶逻辑，比较成熟有把握，所以敢于用它"深加工"，从公理、定义得到可以信赖的定理，中间不需要再与事实核对，"抽象"

1992年8月12日钱学森就信息技术和思维科学问题给汪成为的信（之一）

即此而言。

但对一时还没有搞清的问题，只有零碎概念和抽象（逻辑）思维是无法下手的。这时要根据《实践论》，把感性认识的点点滴滴用一个软件把它"缝"起来，如计算结果同实践经验能对上号，那这个"软件"就能用，范围只限于验证的范围。所以这个方法是每一步都离不开实践经验的"形象"的，因此称形象（直感）思维。但也因此可以应用于比抽象（逻辑）思维更广阔的范围。所以您说的各种软件是大有可为的，但它寸步离不开与实践经验的对比和纠正。这就是人的作用了，所以是人-机结合。将来软件设计得更好了，步子可以迈大一点，人的干预少一点，自动化程度高一点。Neural Computing 也如此，其 intellegence 有限得很。

1992年8月12日钱学森就信息技术和思维科学问题给汪成为的信（之二）

这样我们就用马克思主义认识论把思维学中的几种思维统一起来了。所以我赞成您在信中那一段话。

以上我讲的对不对？请教。书送还。

此致

敬礼！

钱学森

1992.8.12

1. 此信已复制送王寿云同志及戴汝为同志。
2. 灵感（顿悟）思维与形象（直感）思维有相似处，只是用梦境来解放思想。

1992年8月12日钱学森就信息技术和思维科学问题给汪成为的信（之三）

此信复制5份，分送王寿云同志、于景元同志、汪成为同志、
钱学敏同志和涂元季同志。

100080

本市海淀区中关村中国科学院自动化研究所

戴汝为同志：

我近读路甬祥、陈鹰写的三篇讲人机一体化系统的文章和叶峻的讲特异思维的文章颇受启发，想到思维科学与人体科学以及计算机、信息网络是该有一个什么样的关系。这也自然涉及科学技术体系的问题，所以比较重要，谨陈述如下，请考虑。叶峻的文章也附上供参阅。

(一) 我们要进一步分清什么是人体科学，什么是思维科学。现在我想所谓感觉和知觉都是人体科学中精神心理学要研究的领域；而更上一层的所谓感受则是精

1995年3月16日钱学森就思维科学问题给戴汝为的信(之一)

神学的研究领域。我们讲的社会思维学实是研究人在集体讨论所触发的大脑激化状态下的思维，所以它主要是神经心理学和精神学的事，至于处理所获得的信息，那才是思维学的研究课题。

(二) 这就提出思维学是研究加工信息，而不是研究如何获得信息，那是人体学的事。人体学要研究人在集体讨论中大脑的激化状态；人体学也要研究特异功能人是怎样接收处理信息的。

(三) 这样，思维学的任务就是怎样处理从客观世界获得的信息，包括 Popper 的"第三世界"这个非常重要的信息源、信息库，以获得改造客观世界的知识。处理可以只是人干，也可以人·机结合（机只干一部分）。

(四) 这样看思维学就只有3个部分：逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，微观与宏观结合。

1995年3月16日钱学森就思维科学问题给戴汝为的信(之二)

创造思维才是智慧的泉源；逻辑思维和形象思维都是手段。

到今天，我们对逻辑思维研究得最深；对形象思维只是搞了个开端；对创造思维则尚未起步。对思维学我删去灵感（顿悟）思维、社会思维和特异思维，加一个创造思维。也把从前的抽象（逻辑）思维简称为逻辑思维，形象（直感）思维简称为形象思维。

（五）有关文件的工作，所以逻辑思维的任务看来可以交给机器去干。而对形象思维（的计算机化）才开始，现在主要靠人。至于创造思维，现在只能靠人了。当然，人在思维过程中离不开信息网络。

以上5条，请指教。　　此致

敬礼！

钱学森

1995.3.16

1995年3月16日钱学森就思维科学问题给戴汝为的信（之三）

震寰同志：

您看过《巫师的骗术》吗？我们应该看看，以明其区别。

此件阅后请退我。

此致

敬礼！

钱学森

1986.4.23

五月下旬的会可以放映此类影片。

1986年4月23日钱学森给中国人体科学学会理事长张震寰的信

（钱学森要求搞人体科学研究的人都要看看纪录片：《巫师的骗术》，要明确地和封建迷信划清界限）

陈信同志：

附上美国 Science 1988年6月10日期的开篇综述《生物学系统》复制件，值得参考。

他们的观点是生物学研究可以利用各种生物的共同之处，所以提出"生物学系统"，强调生物学研究的"殊途同归"。这自然是有道理的。

但我们要注意用辩证法，不能只一味强调"同"，忽视了"异"：植物与动物，低级动物与高级动物，有很大的差异。我们要运用"同"与"异"的辩证统一。一味求同即流于还原论，不是系统论了。

人体科学的研究当然也如此。以前把人与其它生物之间看得过头了，所以我们才提出"人体科学"，强调了"异"，"人为万物之灵"！

以上请酌。　　此致

敬礼！

钱学森

1988.9.11

1988年9月11日钱学森给中国人体科学学会理事长陈信的信，强调搞人体科学研究要以辩证唯物主义作指导

中国人体科学工作小组伍绍祖组长：

听说中国人体科学工作小组在近日要开会，所以写这个报告。

附呈两个材料：一是我抄自《新华文摘》1992年12月号180页一则在《健康报》上讲施玉华等揭示中医"肾主生长"奥秘；一是一个"宇宙康复球"的说明书。前者是科学地研究中医，为了发扬我传统医药，这类工作应大力提倡。后者是不科学的、骗人的，应作为伪劣加以打击。

这两类事现在很多，事关人民体质健康，是人体科学事业中的头等大事，我衷心希望中国人体科学工作小组下决心解决这个问题。

以上请示。

钱学森

1993.1.8

1993年1日8日钱学森就人体科学问题给伍绍祖的信（之一）

据1992年10月15日《健康报》

在历代中医经典著作中，都有"肾为藏精之府""肾主生殖""肾主骨"、"肾主生长"等论述。但是，如何用现代科学揭示这些理论的内涵？始终是中医学发展中亟待解决的难题。

1989年，上海中医学院施玉华教授和她的合作者马正立等，开始了关于"肾主生长"理论的研究，经过艰苦实验和研究，他们首次发现并证实：温肾益精中药能促进细胞及机体的生长发育和代谢过程，它能使垂体生长激素细胞及甲状腺细胞增加，其结构趋向正常，使甲状腺及肝的组织结构、多种化学成分和亚微结构趋向正常；使长骨重量增加，骺板无机焦磷酸酶活性上升，细胞层数增多，具有明显促进骨的生长发育和钙化作用，使垂体功能低下的受试动物的弓状核神经元功能和下丘脑—垂体—甲状腺轴的结构与功能得到改善，从而促进靶器官的核酸及蛋白质的合成。

中西医专家鉴定时认为：这项研究在国内外属首创，它第一次用人们可以见到的形态学变化的事实，研究并论证了中医"肾主生长"理论是有物质基础的，揭示了温肾益精中药效用的科学依据，具有重要的理论意义和临床指导意义。

1993年1日8日钱学森就人体科学问题给伍绍祖的信（之二）

附录

钱学森生平活动年表

1911年　12月 11 日生于上海。3 岁时随父母来到北京，在北京度过了童年与少年时期。

1923年　入北京师范大学附中并受到良好教育。

1929年　考入上海国立交通大学学习。

1934年　国立交通大学机械工程系毕业，考取清华大学赴美留学公费生。

1935年　留学美国，入麻省理工学院航空系学习。

1936年　获麻省理工学院航空工程硕士学位，后转入加州理工学院航空系学习。

1939年　获美国加州理工学院航空、数学博士学位。

1943年　任加州理工学院助理教授。

1945年　任加州理工学院副教授。

1947年　任麻省理工学院教授。

1949年　任加州理工学院喷气推进中心主任、教授。

1954年　《工程控制论》英文版出版，该书俄文版、德文版、中文版分别于 1956 年、1957 年、1958 年出版。1980 年《工程控制论》（修订版）* 出版。

1955年　返回祖国。

1956年　任中国科学院力学研究所所长、研究员。在力学所工作到 1972 年前后。

在政协第二届全国委员会第二次全体会议上，被增选为政协第二届全国委员会委员。

1957年　获中国科学院自然科学奖（1956 年度）一等奖。

当选为中国力学学会第一届理事会理事长。1982 年当选为

注：打 * 号著作为与他人合著。

中国力学学会名誉理事长。

任国防部第五研究院院长，并兼任该院一分院（即今天的中国运载火箭技术研究院）院长。

在中国科学院第二次学部委员（院士）大会上，被选聘为中国科学院学部委员（院士）。

在法国巴黎召开的国际自动控制联合会成立大会上，当选为该会第一届理事会常务理事。

1958年　任中国科学技术大学近代力学系主任。

1959年　当选为第二届全国人民代表大会代表。并相继当选为第三、四、五届全国人民代表大会代表。

经杜润生、杨刚毅介绍，加入中国共产党。

1960年　任国防部第五研究院副院长，并不再兼任该院一分院院长。从此，钱学森的主要职务一直为副职，由第五研究院副院长，到第七机械工业部副部长，再到国防科学技术委员会副主任等，专司我国国防科学技术发展的重大技术问题。

1961年　当选为中国自动化学会第一届理事会理事长。

1962年　《物理力学讲义》出版。

1963年　《星际航行概论》出版。

1965年　任第七机械工业部副部长。1968 年，兼任国防科学技术委员会第五研究院（即今天的中国空间技术研究院）院长。

1969年　当选为中国共产党第九次全国代表大会代表和第九届中央委员会候补委员。并相继当选为第十、十一、十二、十三、十四、十五次全国代表大会代表，第十、十一、十二届中央委员会候补委员。

1970年　任国防科学技术委员会副主任，并不再兼任该委员会第五研究院院长。

1979年　在中美正式建立外交关系的当年，获美国加州理工学院“杰出校友奖”(Distinguished Alumni Award)。但钱学森没有到美国接受这份荣誉。直到 2001 年钱老 90 岁生日时，钱老在美国的好友 Frank E. Marble 教授受美国加州理工学院校长 D. Baltimore 委托，专程到北京将“杰出校友奖”的奖状和奖章当面颁发给钱老。

当选为中国宇航学会名誉理事长。

1980年　当选为中国科学技术协会第二届全国委员会副主席。

1982年　任国防科学技术工业委员会科学技术委员会副主任。

《论系统工程》* 出版，1988 年《论系统工程》(增订版)* 出版。

1984年　在中国科学院第五次学部委员（院士）大会上，被增选为中国科学院主席团执行主席。

1985年　获国家科技进步奖特等奖。

1986年　当选为中国科学技术协会第三届全国委员会主席。

在政协第六届全国委员会第四次全体会议上，被增选为政协第六届全国委员会副主席，并相继当选为政协第七、第八届全国委员会副主席。1988 年兼任政协第七届全国委员会科学技术委员会主任。

《关于思维科学》* 出版。

1987年　被聘为国防科学技术工业委员会科学技术委员会高级顾问。

《社会主义现代化建设的科学和系统工程》出版。

1988年　《论人体科学》* 出版。

《人体科学与现代科技发展纵横观》和《论人体科学与现代科技》分别于 1996 年、1998 年出版。

1989年　获国际技术与技术交流大会和国际理工研究所授予的"W.F.小罗克韦尔奖章"、"世界级科学与工程名人"和"国际理工研究所名誉成员"称号。

1991年　在中国科学技术协会第四届全国委员会第一次全体会议上，被选为中国科学技术协会名誉主席。

当选为中国空气动力学研究会（1989 年更名为中国空气动力学会）名誉理事长。

当选为中国系统工程学会名誉理事长。

获国务院、中央军委授予的"国家杰出贡献科学家"荣誉称号和中央军委授予的一级英雄模范奖章。

《钱学森文集（1938~1956）》出版。

1992年　在中国科学院第六次学部委员（院士）大会上，被聘为中国科学院学部主席团名誉主席。

1994年　在中国工程院第一次院士大会上，被选聘为中国工程院院士。

《论地理科学》* 出版。

《城市学与山水城市》* 出版，1996 年《城市学与山水城市》(增订版)* 出版。1999 年，作为上述两书的续集《山水城市与建筑科学》* 出版。

《科学的艺术与艺术的科学》出版。

1995年　获何梁何利基金颁发的首届 (1994 年度)“何梁何利基金优秀奖”(后改称“何梁何利基金科学与技术成就奖”)。

1996年　在交通大学百年校庆之际，由江泽民总书记题写馆名，第一次以我国科学家的名字命名的图书馆——钱学森图书馆，在西安交通大学隆重举行命名仪式。该图书馆坐落在西安交通大学的新世纪广场。

1998年　被聘为中国人民解放军总装备部科学技术委员会高级顾问。在中国科学院第九次院士大会和中国工程院第四次院士大会上，被授予“中国科学院资深院士”、“中国工程院资深院士”称号。

1999年　获中共中央、国务院、中央军委颁发的“两弹一星功勋奖章”。

2000年　《钱学森手稿 (1938~1955)》出版。

2001年　获霍英东奖金委员会颁发的第二届“霍英东杰出奖”(中国地区)。

经国际小行星中心和国际小行星命名委员会审议批准，将中国科学院紫金山天文台发现的国际编号为 3763 号的小行星正式命名为“钱学森星”。

《论宏观建筑与微观建筑》出版。

《第六次产业革命通信集》出版。

《创建系统学》出版。

钱学森部分论著目录

[1] H.S.Tsien. Engineering Cybernetics. McGraw-Hill Book Company, 1954（《工程控制论》中文版由科学出版社1958年出版）
[2] 钱学森. 物理力学讲义. 北京：科学出版社，1962
[3] 钱学森. 星际航行概论. 长沙：科学出版社，1963
[4] 钱学森等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982
[5] 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 北京：中共中央党校出版社，1987
[6] 钱学森文集（1938~1956）. 北京：科学出版社，1991
（此文集收集钱学森从1938年至1956年在美国发表的科学论文共51篇，由王寿云编）
[7] 钱学森等. 论地理科学. 杭州：浙江教育出版社，1994
[8] 钱学森. 城市学与山水城市. 北京：中国建筑工业出版社，1994
[9] 钱学森. 科学的艺术与艺术的科学. 北京：人民文学出版社，1994
[10] 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996
[11] 钱学森. 论宏观建筑与微观建筑. 杭州：杭州出版社，2001
[12] 钱学森. 创建系统学. 太原：山西科学技术出版社，2001

［Ｇｅｎｅｒａｌ　Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝钱学森
作者＝
页数＝１６２
ＳＳ号＝０
出版日期＝
Ｖｓｓ号＝９２５９９３１０